554

54

SCIENTIFIC LIBRARY

UNITED STATES PATENT OFFICE

CANCELLED

GPO 16—53001-1

LIBRARY
CANCELLED
1953
U. S. PATENT OFFICE

Das Mikroskop.

Ein Leitfaden der wissenschaftlichen Mikroskopie.

Bausch & Lomb
Scientific Library
CANCELLED
Shelf
Acc. No. 21
Date
Price

Von

Dr. A. Zimmermann,

a. o. Professor an der Universität zu Tübingen.

Mit 231 Figuren im Text.

LEIPZIG UND WIEN
FRANZ DEUTICKE
1895.

QH
211
Z4
MHT

SMITHSONIAN
LIBRARY

Druck von Rudolf M. Rohrer in Brünn.

LIBRARY
CANCELLED
1953
U.S. PATENT OFFICE
CANCELLED

Vorrede.

Das vorliegende Buch ist für alle diejenigen bestimmt, die sich mit der mikroskopischen Untersuchung von Thieren oder Pflanzen beschäftigen wollen, also nicht nur für Anatomen, Zoologen und Botaniker von Fach, sondern auch für Mediciner, Pharmaceuten, Untersucher von Nahrungsmitteln etc. Es verfolgt in erster Linie den Zweck, denen, die sich nicht mit einem rein handwerksmässigen Gebrauch des Mikroskops begnügen wollen, einen Einblick in die optische Wirkungsweise der einzelnen Theile und Nebenapparate des Mikroskops zu verschaffen. Verfasser hat sich hierbei bemüht, alles zwar streng wissenschaftlich, aber doch so, dass es ohne allzu grosse Mühe und mathematische Kenntnisse verständlich ist, darzustellen. So sind denn auch mathematische Ableitungen fast ganz vermieden, dahingegen ist die optische Wirkungsweise der einzelnen Apparate durch möglichst zahlreiche anschauliche Constructionen erläutert. Es ist hierbei übrigens stets in erster Linie auf die Bedürfnisse des praktischen Mikroskopikers Rücksicht genommen, und es sind speciell diejenigen Apparate und Methoden, die für diesen von Bedeutung sind, berücksichtigt. Eingehend ist denn auch namentlich die Anwendung der Beleuchtungsapparate, der Zeichen- und Messapparate, der Polarisationsvorrichtung und des mikrophotographischen Apparates besprochen.

Einen Haupttheil des Buches bildet ferner die Präparation im weitesten Sinne. Es werden in demselben in erster Linie die zur Beobachtung der lebenden Organismen dienenden Methoden, sowie auch die chemische und mechanische Präparation derselben besprochen. In diesem Abschnitte musste natürlich auch die Mikrotomtechnik eingehend berücksichtigt werden. Ein specielles Eingehen auf die Mikrochemie und auf die verschiedenen Tinctionsmethoden glaubte ich dagegen unterlassen zu sollen. Einerseits hätte sonst die Ausdehnung dieses Buches noch ganz bedeutend vergrössert werden müssen und anderer-

seits habe ich vor kurzem bereits an einem anderen Orte eine derartige Zusammenstellung publiciert. (Cf. Zimmermann. Die botanische Mikrotechnik. Tübingen. 1892.)

Die citierte Literatur ist am Ende des Buches zusammengestellt, und zwar beziehen sich von den im Text hinter den Autornamen befindlichen Zahlen die erstere (römische) auf die im Literaturverzeichnis unter dieser Nummer angeführte Arbeit, während die zweite (arabische) die betreffende Seitenzahl angibt.

Die Figuren sind zum grösseren Theile nach Originalzeichnungen und Photographien des Verfassers ausgeführt. Eine nicht unbeträchtliche Anzahl wurde mir aber auch von verschiedenen Fabrikanten von Mikroskopen und mikroskopischen Utensilien gütigst zur Verfügung gestellt, wofür ich diesen Herren auch an dieser Stelle bestens danken möchte.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Die allgemeinen Abbildungsgesetze.

1. Die Bestimmung der Abbildung aus den Cardinalpunkten 1
a) Die Cardinalpunkte einer Linse 1
b) Die Construction der Abbildung aus den Cardinalpunkten 5
2. Die Abbildung durch eine einfache Linse 8
a) Die Convexlinse 8
b) Die Concavlinse 10
3. Die Abbildung durch Combinationen von Linsen 11
4. Die Bilderzeugung im Auge 13
5. Der Oeffnungswinkel und die numerische Apertur 16
6. Die sphärische Aberration 28
7. Die chromatische Aberration 30
8. Die Theorie der secundären Abbildung 34
a) Die Interferenz des Lichtes 34
b) Die Abbildung von selbstleuchtenden Körpern 37
c) Die secundäre Abbildung 40
1. Die Entstehung des Beugungsbildes 42
2. Die Entstehung des secundären Bildes 47
d) Die Grenzen der optischen Wahrnehmung 51

II. Das Mikroskop 56

1. Allgemeines über den Strahlengang und die Strahlenbegrenzung im Mikroskop 59
2. Specielle Besprechung der einzelnen Theile des Mikroskops 66
a) Das Objectiv 66
1. Immersionssysteme 69
2. Der Einfluss des Deckgläschens und die Correctionsfassung . . . 71
3. Das Anschrauben und Auswechseln der Objective 74
b) Das Ocular 76
1. Das Huygens'sche Ocular 77
2. Das Ramsden'sche Ocular 78
3. Die Compensationsoculare 79
c) Der Beleuchtungsapparat 81
1. Die Construction der Beleuchtungsapparate 81
2. Die Lichtquelle 84
3. Theorie und Anwendung der Beleuchtungsvorrichtung 86

Seite

4. Die Dunkelfeldbeleuchtung 97
5. Die Fernhaltung störenden Lichtes 98
6. Die Einstellung des Beleuchtungsapparates und die Wahl des Oeffnungswinkels 99

d) Das Stativ 100
1. Die Einstellungsvorrichtung 101
2. Der Tubus 102
3. Der drehbare Objecttisch 103
4. Der bewegliche Objecttisch 103
5. Stative zu besonderen Zwecken 106

3. Das Instandhalten und Reinigen des Mikroskops 108

4. Die Bestimmung der optischen Constanten und die Prüfung des Mikroskops 111

a) Die Bestimmung der Vergrösserung des Mikroskops 111
b) Die Bestimmung der Brennpunkte und Brennweiten 114
c) Die Bestimmung des Oeffnungswinkels 119
d) Das Zeichnungs- oder Definitionsvermögen des Mikroskops 122
e) Das Auflösungsvermögen des Mikroskops 125

III. Die mikroskopischen Nebenapparate und deren Anwendung 128

1. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte 128

a) Die am Mikroskop anzubringenden Zeichenapparate 129
b) Die Apparate zum Zeichnen bei schwachen Vergrösserungen 138
c) Der Zeichentisch für mikroskopische Zwecke 141

2. Die mikroskopische Messung und Zählung 143

a) Die Längenmessung innerhalb der Einstellungsebene 143
1. Die Messung mit dem Ocularmikrometer 143
2. Das Ocularschraubenmikrometer 145
3. Das Spitzenocular und das Objectivmikrometer 146
4. Das Objectschraubenmikrometer 147
5. Die Messung mit Hilfe von Zeichnung und Photographierung . . 148
b) Die Messung in der Richtung der Achse des Mikroskops 149
c) Die Winkelmessung 151
1. Das Goniometerocular 151
2. Winkelmessung mit drehbarem Objecttisch 152
3. Messung nach vorheriger Zeichnung 153
d) Die mikroskopische Zählung 153

3. Die Anwendung des polarisierten Lichtes in der Mikroskopie 155

a) Das polarisierte Licht 155
b) Die optischen Elasticitätsachsen 157
c) Die zu mikroskopischen Untersuchungen im polarisierten Lichte erforderlichen Apparate 160
d) Die optische Wirkung einer planparallelen Platte und eines Keiles . . 165
e) Die Combination von 2 anisotropen Platten 174
f) Die Bestimmung der optischen Elasticitätsachsen in Krystallen und organisierten Körpern 177
g) Der Pleochroismus 181
h) Die Anwendung des Spectropolarisators 183

Seite

4. Die Beobachtungen im prismatisch zerlegten Lichte 186
a) Das Spectralocular und Mikrospectralphotometer 186
b) Der Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht 188
c) Das Mikrospectralobjectiv 189

5. Die Vorrichtungen zur Bildaufrichtung 190

6. Das stereoskopische Ocular 191

7. Die Mikrophotographie 194
a) Stativ und Camera 194
b) Der zur Projection dienende optische Apparat 197
c) Die Beleuchtung 200
d) Die Einstellung und Exponierung 202
e) Die Entwicklung des Negativs 206
f) Die Anfertigung der Positive 210

IV. Das mikroskopische Präparat 213

1. Apparate und Utensilien von allgemeiner Anwendung 213
a) Objectträger und Deckgläschen 213
b) Flaschen und Schalen 215
c) Pincetten und Spatel 217

2. Die Beobachtung lebender Objecte 218
a) Die Beobachtung unter normalen Bedingungen 218
b) Die Beobachtung unter Aenderung der Zusammensetzung oder des Druckes der umgebenden Luft (Gaskammern) 223
c) Die Mittel zur Regulierung der Temperatur der mikroskopischen Objecte (heizbarer Objecttisch) 224
d) Die partielle Beleuchtung der Präparate 230
e) Die Erzeugung elektrischer Ströme im mikroskopischen Präparat (elektrischer Objectträger) 231
f) Mikroskopischer Nachweis von Chemotropismus und Chemotaxis . . . 234

3. Die chemische Präparation 237
a) Die Ausführung mikroskopischer Reactionen 237
b) Die Aufhellung 238
c) Die Quellung 246
d) Die Maceration 246
1. Pflanzliche Objecte 247
2. Thierische Objecte 248
e) Die Fixierung 248
1. Die Fixierung durch Flüssigkeiten 251
2. Die Fixierung durch Dämpfe 254
3. Die Fixierung durch Erhitzen 254
4. Die Fixierung durch Austrocknen bei niederer Temperatur . . . 255
f) Die Härtung 255
g) Die Tinction 256
1. Die Lebendfärbung 257
2. Die Tinction fixierter Objecte 257
h) Die Imprägnierung 260
i) Die Injection 261

Seite

4. Die mechanische Präparation 263
a) Das Präpariermikroskop 263
b) Das Comprimieren, Zerreiben und Zerzupfen 266
c) Das Schneiden 267
1. Die zum Schneiden erforderlichen Instrumente 267
2. Das Instandhalten und Schleifen der Messer 274
3. Die Herstellung der Schnitte 277
4. Das Einklemmen der zu schneidenden Objecte 280
5. Die Einbettung der zu schneidenden Objecte 281
6. Das Aufkleben der Schnitte 294
d) Das Schleifen 297
5. Die Conservierung der mikroskopischen Präparate 298
a) Die Einschlussmittel 298
b) Die Verschlussmittel 302
c) Die Etiquettierung der Präparate 303
d) Die Markierung bestimmter Stellen der Präparate 304
e) Die Aufbewahrung der Dauerpräparate 307

V. Die mikroskopische Wahrnehmung 309

1. Die mikroskopische Abbildung einer undurchsichtigen reflectierenden Kugel 310
2. Die mikroskopische Abbildung einer durchsichtigen Kugel 314
a) Das Bild einer Luftblase 315
b) Das Bild eines Oeltropfens 319
Literaturverzeichnis 323
Lieferantenverzeichnis 328
Alphabetisches Register 329

I. Die allgemeinen Abbildungsgesetze.

§ 1. Der speciellen Besprechung der optischen Wirkungsweise des Mikroskops soll in diesem Abschnitte ein kurzer Überblick über die allgemeinen Abbildungsgesetze vorausgeschickt werden. Da jedoch das vorliegende Buch in erster Linie für den praktischen Mikroskopiker bestimmt ist, habe ich auf eine mathematische Begründung der vorgetragenen Sätze ganz verzichtet. Auch soll im folgenden keineswegs ein vollständiger Überblick über die gesammte Dioptrik gegeben werden; vielmehr habe ich mich auf diejenigen Sätze beschränkt, deren Kenntnis mir für das Verständnis der mikroskopischen Abbildung nothwendig erschien. Ohne an die physikalischen Kenntnisse des Lesers grosse Anforderungen zu stellen, habe ich mich ferner bemüht, die einzelnen Sätze durch Anknüpfung an leicht zu wiederholende Beobachtungen und durch möglichst übersichtliche Constructionen zu erläutern. Die Ausführung derartiger Constructionen soll denn auch demjenigen, der sich über die Wirkungsweise irgend eines Apparates Klarheit verschaffen will, auf das wärmste empfohlen werden, und hoffe ich, dass die in diesem Buche enthaltenen Anweisungen auch den in der mathematischen Physik weniger Bewanderten zur Ausführung derselben befähigen werden.

I. Bestimmung der Abbildung aus den Cardinalpunkten.

a) Die Cardinalpunkte einer Linse.

§ 2. Die beim Mikroskop zur Anwendung kommenden Linsen sind sämmtlich entweder von zwei Kugelflächen oder von einer Plan- und einer Kugelfläche begrenzt. Je nach der Orientierung dieser Begrenzungsflächen unterscheidet man nun zunächst zwei Hauptarten von Linsen: Die Convex- oder Sammellinsen und die Concav- oder Zerstreuungslinsen. Die ersteren kann man ferner weiter eintheilen in biconvexe (cf. Fig. 1, a), planconvexe (Fig. 1, b) und concavconvexe (Fig. 1, c),

die Concavlinsen aber in biconcave (Fig. 1, d), planconcave (Fig. 1, e), und convexconcave (Fig. 1, f).

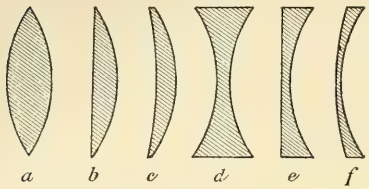


Fig. 1.

Man bezeichnet ferner die Verbindungslinie der Mittelpunkte dieser Kugelflächen, resp. das von dem Mittelpunkte der einen Kugelfläche auf die Planfläche gefällte Loth als die Achse der Linse. Auf der Achse (A A, Fig. 2) liegen nun die vier sogenannten Cardinalpunkte: die beiden Brennpunkte und die beiden Hauptpunkte. Von diesen Punkten befindet sich je einer auf jeder Seite der Linse, die als Objectraum und Bildraum bezeichnet werden sollen. In Fällen, wo

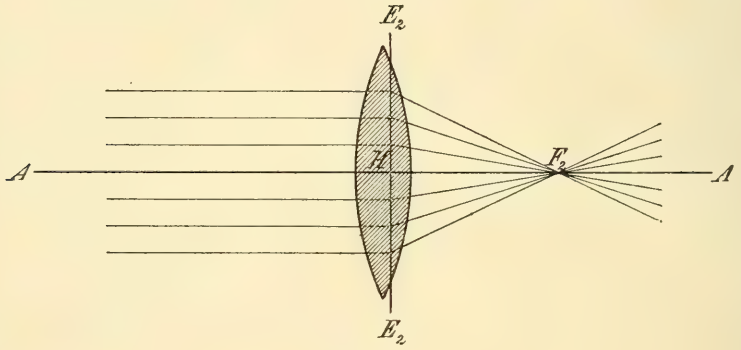


Fig. 2.

sonst Verwechslungen entstehen könnten, soll ferner zwischen dem ersten und zweiten Brenn- und Hauptpunkt unterschieden werden.

§ 3. Den Brennpunkt einer Convexlinse kann man nun z. B. beobachten, wenn man auf dieselbe ein von einer sehr weit entfernten Lichtquelle, etwa der Sonne, kommendes Strahlenbüschel parallel der Achse auffallen lässt. Die Strahlen werden dann bekanntlich jenseits der Linse in einem Punkte vereinigt, der eben, weil er bei Anwendung von intensivem Lichte nicht nur sehr hell, sondern auch sehr heiss ist, als Brennpunkt bezeichnet wird. Allgemein werden nun die Brennpunkte als diejenigen Punkte definiert, in denen sich die parallel der Achse auf die Linse auffallenden Strahlen nach dem Durchtritt durch dieselbe schneiden. Wüssten wir also z. B., dass sich der eine Brennpunkt der in Fig. 2 abgebildeten Linse in F_2 befindet, so könnten wir offenbar den Verlauf der einzelnen parallel der Achse (A A) einfallenden Strahlen nach dem Austritt aus der Linse genau construieren, wenn wir wüssten, in welchen Punkten die einfallenden und die ge-

brochenen Strahlen einander schneiden. Zur Bestimmung dieser Schnittpunkte kann man nun die andere Art von Cardinalpunkten, die Hauptpunkte, benutzen.

Die Hauptpunkte sind nämlich nach der hier nicht weiter zu begründenden Definition dadurch bestimmt, dass die Schnittpunkte, welche die parallel der Achse einfallenden Strahlen mit den nach der Brechung in der Linse durch den Brennpunkt gehenden Strahlen bilden, sämmtlich in der durch den entsprechenden Hauptpunkt senkrecht zur Achse gelegten Ebene, liegen. Die genannte Ebene wird denn auch als Hauptebene bezeichnet.

Liegt also z. B. der betreffende Hauptpunkt bei der in Fig. 2 dargestellten Linse in H, so hätten wir, um die zu den einfallenden Strahlen gehörigen gebrochenen Strahlen zu erhalten, die ersteren bis zu der in H errichteten Senkrechten (E_2E_2) zu verlängern und durch die Schnittpunkte mit dieser und den Brennpunkt (F_2) Gerade zu ziehen. Diese Geraden stellen dann die gebrochenen Strahlen dar.

§ 4. Unrichtig gezeichnet ist bei dieser Construction allerdings der Strahlengang innerhalb der Linse, da ja die Richtung der Strahlen natürlich nicht plötzlich im Innern der Linse, sondern in Wirklichkeit beim Ein- und Austritt aus derselben geändert wird. Um aber auch innerhalb der Linse den Verlauf der Lichtstrahlen richtig zu zeichnen, brauchte man nur unter Zugrundelegung obiger Constructionsweise diejenigen Punkte zu bestimmen, in denen die ein- und austretenden Strahlen die vordere und hintere Linsenfläche schneiden, und diese Punkte (E und A, Fig. 3) durch eine Gerade zu verbinden. P E A F_2 stellt dann offenbar den wirklichen Verlauf der Lichtstrahlen dar. Da nun aber der Strahlenverlauf innerhalb der Linse für die Abbildungsweise derselben eine nur sehr untergeordnete Bedeutung besitzt, wollen wir im folgenden, um die Zeichnungen nicht unnöthig zu complicieren, im allgemeinen nur den sich unmittelbar aus der Construction ergebenden Strahlenverlauf (P S F_2) zur Darstellung bringen.

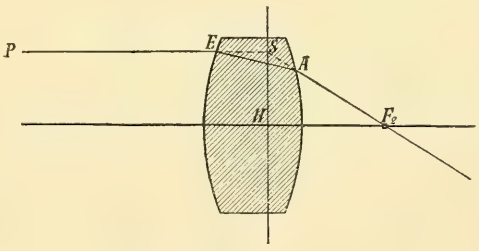


Fig. 3.

§ 5. Die Bedeutung des anderen Brenn- und Hauptpunktes könnten wir uns nun in derselben Weise klar machen, indem wir von der Bildseite her ein der Achse paralleles Strahlenbüschel einfallen liessen. Wir können

die Beziehung aber auch so ausdrücken, dass die im Objectraum durch den ersten Brennpunkt (F_1 in Fig. 4) gehenden Strahlen im Bildraum der Achse parallel gehen und dass die einfallenden und gebrochenen Strahlen sich in der durch den ersten Hauptpunkt (H_1) gelegten Ebene (E_1E_1), der ersten Hauptebene, schneiden. Nach dem oben gesagten macht die Construction dieser Strahlen keine Schwierigkeiten (cf. Fig. 4).

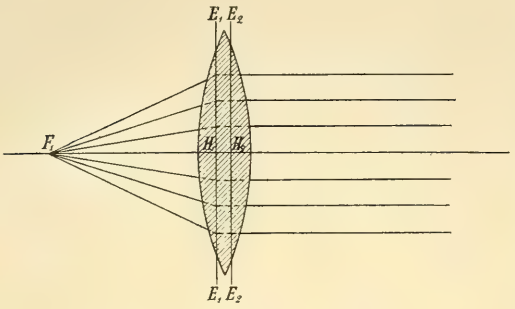


Fig. 4.

§ 6. Erwähnen will ich nun übrigens an dieser Stelle gleich noch, dass man die Entfernungen der Brennpunkte von den zugeordneten Hauptpunkten, also die Strecken F_1H_1 und F_2H, Fig. 3 und 1, als die beiden Brennweiten bezeichnet. Befindet sich zu beiden Seiten der Linse das gleiche Medium, was ja bei optischen Instrumenten meistens der Fall ist, so sind ferner die beiden Brennweiten einander gleich, und es lässt sich also in diesem Falle, den wir zunächst ausschliesslich ins Auge fassen wollen, die Lage der 4 Cardinalpunkte einer Linse bestimmen, sobald der Ort der beiden Brennpunkte und die Grösse der Brennweite bekannt ist.

§ 7. Anzugeben ist hierbei jedoch noch die Richtung, in der die Brennweite von den Brennpunkten aus auf der Achse abzutragen ist, diese ist nämlich keineswegs immer die gleiche, und zwar befindet sich speciell bei Concavlinsen — umgekehrt wie in dem im Obigen besprochenen Falle — der Brennpunkt auf der gleichen Seite der Linse wie die Lichtquelle, von der die parallel der Achse einfallenden Strahlen stammen. Es folgt hieraus, dass diese Strahlen, deren Verlauf in der Fig. 5 in der gleichen Weise wie in dem oben besprochenen Falle construiert ist, im Bildraum divergieren, wie Strahlen, die von dem Brennpunkte F_2 ausgehen. In derartigen Fällen redet man von einer negativen Brennweite.

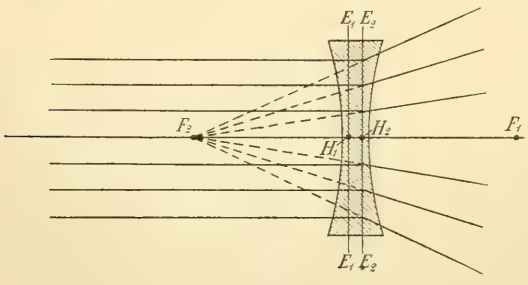


Fig. 5.

b) Die Construction der Abbildung aus den Cardinalpunkten.

§ 8. Nach Vorausschickung dieser Definitionen soll nun zunächst gezeigt werden, wie sich die Abbildung eines beliebigen Punktes durch Construction ermitteln lässt, sobald die beiden Brennpunkte und die Brennweite bekannt sind. Befinden sich z. B. die Brennpunkte der in Fig. 6 abgebildeten Linse in F_1 und F_2 und ist die Brennweite derselben f, so erhalten wir zunächst die Lage der beiden Hauptebenen, indem wir die Grösse f von F_1 und F_2 auf der Achse abtragen, so dass $F_1 H_1$ und $F_2 H_2 = f$. Um sodann die Abbildung des Punktes P_1 zu finden, ziehen wir durch denselben zunächst den der Achse parallelen Strahl, der nach obigem durch den Brennpunkt F_2 geht; auf dieser Geraden muss also jedenfalls die gesuchte Abbildung von P_1 liegen. Zur eindeutigen Bestimmung derselben haben wir nur noch nöthig, durch den Punkt P_1 einen zweiten Strahl hindurchzulegen und auch für diesen die Abbildung zu ermitteln. Wir wählen hierzu den durch den ersten Brennpunkt (F_1) gehenden Strahl ($P_1 F_1$), dieser geht nach obiger Definition im zweiten Medium der Achse parallel und schneidet den einfallenden Strahl in der ersten Hauptebene ($E_1 E_1$). Offenbar muss die Abbildung von P_1 auch auf dieser Geraden liegen. Da nun aber die beiden so gefundenen Geraden nur einen Punkt, den Schnittpunkt (P_2), gemeinsam haben, muss dieser offenbar die Abbildung des Punktes P_1 darstellen.

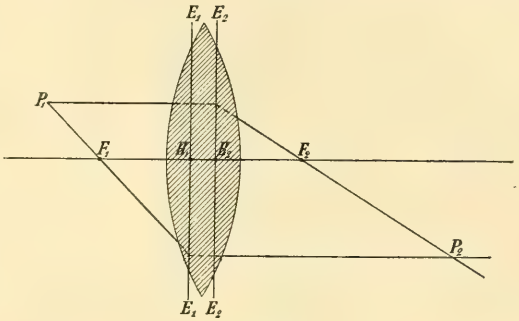


Fig. 6.

§ 9. Eine Vereinfachung kann unsere Construction noch erfahren, wenn wir annehmen, dass wir die Dicke der Linse vernachlässigen können; dann fallen nämlich die beiden Hauptebenen in eine zusammen, und es ist z. B. die zur Bestimmung der Abbildung von P_1 dienende Construction aus Fig. 7 unmittelbar ersichtlich. Eine Vergleichung derselben mit der Fig. 6 lässt ferner erkennen, dass durch die Verschmelzung der beiden Hauptebenen nur eine Parallelverschiebung bewirkt wird, dass dagegen eine wesentliche Aenderung in der Abbildungsweise durch die-

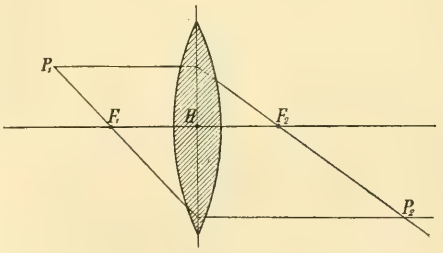


Fig. 7.

selbe nicht veranlasst wird. Wir wollen deshalb auch der einfacheren Zeichnung halber im folgenden häufig selbst dann von dieser einfacheren Construction Gebrauch machen, wenn dies streng genommen nicht gestattet ist, d. h. wenn auch die beiden Hauptebenen in Wirklichkeit weit von einander entfernt sind.

§ 10. Eine besondere Beachtung verdienen nun aber an dieser Stelle noch diejenigen Fälle, in denen die beiden in der angegebenen Weise zur Bestimmung der Abbildung eines Punktes construierten Strahlen sich innerhalb der Bildebene überhaupt nicht schneiden. Es ist dies z. B. bei der in Fig. 8 angenommenen Lage des Punktes P_1 der Fall; es führt hier offenbar die obige Construction zur Bestimmung der Abbildung von P_1 auf die Strahlen $S_1 A$ und $S_2 F_2$, die, wie aus der Figur leicht ersichtlich, im Bildraum voneinander divergieren. Die beiden Strahlen $S_1 A$ und $S_2 F_2$ convergieren nun aber offenbar nach dem im Objectraume gelegenen Punkte P_2, und es muss dieser Pnnkt auch in der That als das Bild von P_1 angesehen werden. Es ist hierbei jedoch festzuhalten, dass in diesem Punkte nicht etwa wirklich eine Strahlenvereinigung stattfindet; vielmehr werden nur die von P_1 ausgehenden Strahlen durch die Linse derartig gebrochen, dass die austretenden Strahlen, rückwärts verlängert, sich in dem Punkte P_2 schneiden. Es ist also auch nicht möglich ein derartiges Bild, das nur in der Construction vorhanden ist, auf einem Schirme oder dgl. aufzufangen. Man bezeichnet nun solche Bilder als virtuelle Bilder im Gegensatz zu den reellen Bildern, in denen eine wirkliche Strahlenvereinigung stattfindet und die sich also auch durch einen Schirm auffangen lassen. Wir werden übrigens noch sehen, dass auch die virtuellen Bilder in den optischen Instrumenten eine grosse Rolle spielen und dass man mit denselben vielfach ebenso wie mit reellen Bildern operieren kann.

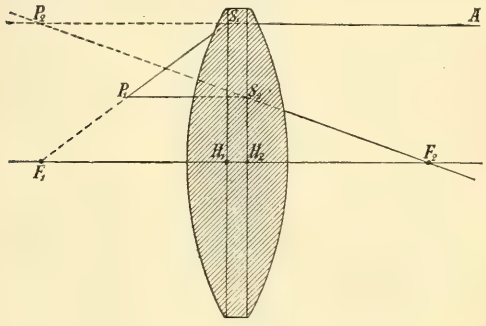


Fig. 8.

§ 11. In entsprechender Weise könnten wir nun auch die Abbildung eines beliebigen weder durch den Brennpunkt gehenden, noch der Achse parallel laufenden Strahles durch Construction ermitteln. Wir hätten dann offenbar nur nöthig, für 2 beliebige Punkte der im Objectraum verlaufenden Geraden in der soeben geschilderten Weise die Abbildung zu bestimmen. Die Verbindungslinie dieser Punkte stellt dann offenbar die gesuchte Abbildung dar. Wir können hierzu

aber auch den Satz benutzen, dass innerhalb der Hauptebenen eine Abbildung ohne Vergrösserung stattfindet, dass jeder Punkt der ersten Hauptebene in der zweiten Hauptebene ohne Vergrösserung, d. h in gleichem Abstande von der Achse des Systems abgebildet wird. Handelt es sich also z. B. darum die Abbildung des Strahles AS_1 Fig. 9 zu finden, so wissen wir nach Obigem zunächst, dass der gesuchte Strahl durch S_2 geht und brauchen nun nur noch in der in § 8 geschilderten Weise für einen weiteren Punkt der Geraden AS_1 die Abbildung zu bestimmen. Finden wir z. B. mit Hilfe der in der Figur mit dünneren Linien ausgeführten Construction, dass die Abbildung von P_1 in P_2 liegt, so stellt offenbar S_2P_2 den gesuchten Strahl dar.

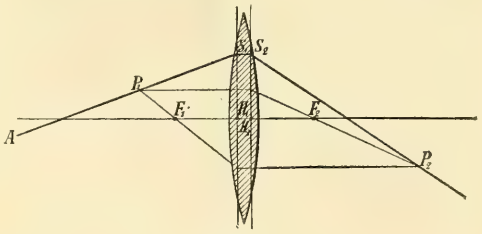


Fig. 9.

§ 12. In vielen Fällen ist es schliesslich noch von Vortheil zu wissen, dass ein Strahl, der die Achse in einem Hauptpunkte schneidet, nach der Brechung in dem anderen Hauptpunkte mit der Achse den gleichen Winkel bildet, also nur eine Parallelverschiebung erleidet. Denken wir uns die beiden Hauptebenen zusammenfallen (Fig. 10), so können wir diesen Satz auch so aussprechen, dass ein durch den Hauptpunkt gehender Strahl (P_1 H P_2) beim Durchgang durch die Linse keine Brechung erleidet. Derartige Strahlen, die auch wohl als Centralstrahlen bezeichnet werden, lassen sich ebenfalls bei der Construction von Linsenbildern vielfach mit Vortheil verwenden. Übrigens ist obiger Satz, wie sich relativ leicht nachweisen lässt, eine unmittelbare Folge von der Gleichheit der beiden Brennweiten und lässt sich auch rein geometrisch aus der gewöhnlichen Construction ableiten; er gilt dagegen nicht, sobald die Brennweiten voneinander verschieden sind, was im allgemeinen der Fall ist, wenn die § 6 gemachte Beschränkung aufgehoben ist, dass sich auf beiden Seiten der Linse das gleiche Medium befindet. Auf diesen Fall werden wir übrigens in § 23 noch näher eingehen.

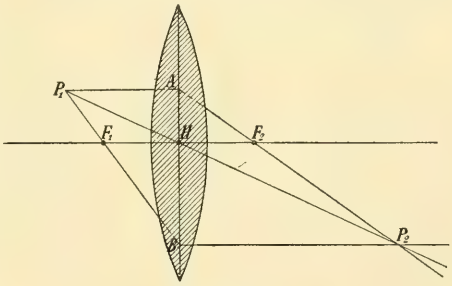


Fig. 10.

2. Die Abbildung durch eine einfache Linse.

§. 13. Im Anschluss an die Erörterungen des vorigen Abschnittes wollen wir nun die von den verschiedenen Linsenarten bewirkte Abbildung etwas specieller ins Auge fassen, und zwar können wir uns hier auf die Besprechung der Wirkungsweise einer Biconvex- und einer Biconcavlinse beschränken, da die anderen im § 2 erwähnten Linsenarten in ihrer Wirkung im wesentlichen mit diesen vollständig übereinstimmen und sich dem einen oder dem anderen Typus anschliessen, je nachdem die Wirkung der convexen oder der concaven Fläche überwiegt. Wir wollen uns übrigens auch in diesem Abschnitte auf die Ableitung der verschiedenen Bilder aus entsprechenden Constructionen beschränken. Selbstverständlich wird aber jedermann gut thun, sich durch eigene Anschauung von dem Vorhandensein der verschiedenen Bilder zu überzeugen, was ja mit einer jeden beliebigen Linse leicht ausführbar ist.

a) Die Convexlinse.

§ 14. Die von einer Convexlinse bewirkte Abbildung wollen wir uns an der Hand der in Fig. 11 dargestellten Construction klar machen.

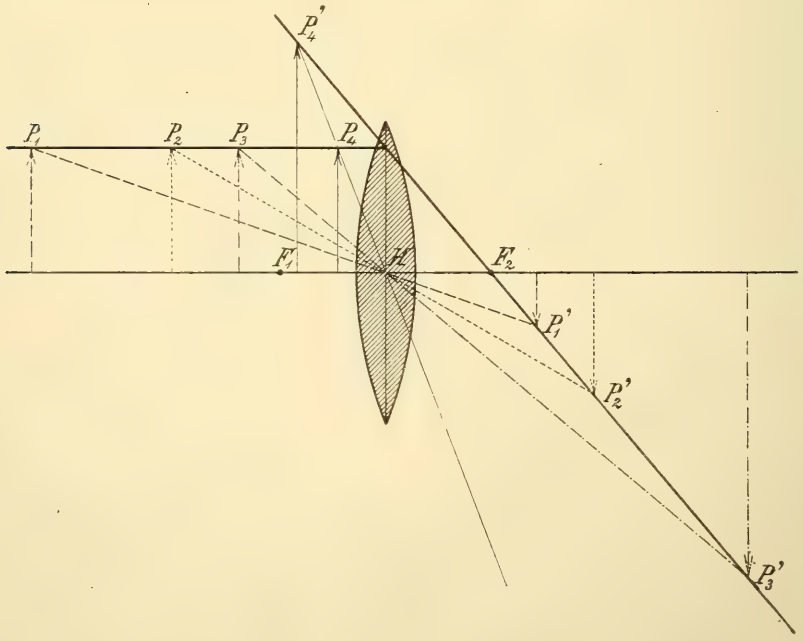


Fig. 11.

Bei derselben befinden sich die beiden Brennpunkte in F_1 und F_2, die beiden Hauptpunkte sind ferner der besseren Übersichtlichkeit halber

bei H im Mittelpunkt der Linse vereinigt gedacht. Wir wollen ferner annehmen, dass der in der Zeichnung durch eine Pfeilspitze deutlich gemachte Punkt P sich im Objectraume aus weiter Entfernung gegen die Linse hin verschiebt, und wollen die Abbildung dieses Punktes in den verschiedenen Stadien dieser Bewegung bestimmen. Wir benutzen hierzu einerseits den im Objectraume der Achse parallelen Strahl, der, da wir uns den abzubildenden Punkt ja parallel der Achse verschoben denken, für alle Stellungen desselben der gleiche bleibt. Die Abbildung dieses Strahles geht nun nach § 3 durch den im Objectraum befindlichen Brennpunkt, sie wird also dargestellt durch den stark ausgezogenen Strahl $P_4'\ F_2\ P_3'$. Ausserdem wollen wir nun noch den durch die nach unserer Annahme in H zusammenfallenden Hauptpunkte gehenden Centralstrahl, der nach § 12 ohne Richtungsänderung die Linse durchsetzt, zur Bestimmung der gesuchten Abbildung benutzen. Der Durchschnittspunkt dieser beiden Geraden stellt dann offenbar die gesuchte Abbildung dar.

Construieren wir nun zunächst für den am meisten von der Linse entfernten Punkt (P_1) in der angegebenen Weise die beiden zur Bestimmung der Abbildung erforderlichen Strahlen, so finden wir offenbar, dass sich diese in dem Punkte P_1' schneiden und dass dieser also die Abbildung von P_1 darstellt. In der gleichen Weise würden wir nun auch für einen jeden sehr entfernten Gegenstand ein in der Nähe des Brennpunktes befindliches, umgekehrtes, verkleinertes, reelles Bild erhalten.

Es leuchtet ferner ein, dass bei einer Annäherung des Punktes P an die Linse der Centralstrahl mit der Achse einen immer grösseren Winkel bilden muss und dass infolge dessen der Schnittpunkt mit dem im Bildraum durch den Brennpunkt gehenden Strahle sich immer mehr von der Linse entfernen muss. Offenbar ist hiermit auch eine entsprechende Zunahme der Vergrösserung verbunden. So erhält man z. B. von dem um die doppelte Brennweite von der Linse entfernten Punkte P_2 die Abbildung in dem Punkte P_2'. Derselbe ist ebenfalls um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, und es findet in dieser Ebene eine Abbildung ohne Vergrösserung statt.

Rückt der Punkt P noch näher, so entfernt sich die Abbildung offenbar immer mehr von der Linse, und es findet eine der Entfernung des Bildes entsprechende Vergrösserung statt. So liegt z. B. die Abbildung von P_3 in P_3'.

Fällt nun aber der Punkt P in die durch F_1 gelegte Brennebene, so laufen die beiden zur Bestimmung der Abbildung benutzten Strahlen offenbar einander parallel, sie schneiden sich also in der Unendlichkeit, d. h. es findet in diesem Falle überhaupt keine Abbildung statt.

Rückt jedoch der Punkt noch näher an die Linse heran, so schneiden sich die beiden Strahlen zwar nicht mehr im Bildraume,

wohl aber, wenn wir sie uns rückwärts verlängert denken, im Objectraume, so stellt z. B. P_4' die Abbildung von P_4 dar. Man erhält in dieser Weise, wie leicht ersichtlich ist, stets ein vergrössertes, aufrechtes und virtuelles Bild, das der Linse um so näher liegt, je weniger der abzubildende Punkt von derselben entfernt ist.

§ 15. Für die Abbildung einer Convexlinse gelten somit folgende Sätze:

Liegt das Object um mehr als die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so liefert dieselbe ein umgekehrtes, reelles Bild, das um so mehr verkleinert ist, je grösser der Abstand des Objectes von der Linse.

Von einem zwischen der doppelten und einfachen Brennweite gelegenen Objecte erhalten wir ein umgekehrtes, reelles Bild, das um so mehr vergrössert ist, je mehr das Object dem Brennpunkte genähert ist.

Von einem um weniger als die einfache Brennweite von der Linse entfernten Objecte erhalten wir ein aufrechtes, virtuelles Bild, das um so weniger vergrössert ist, je weniger das Object von der Linse entfernt ist.

b) Die Concavlinse.

§ 16. Bezüglich der Concavlinsen haben wir schon in § 7 darauf hingewiesen, dass der Brennpunkt derselben auf der Objectseite liegt. Construieren wir also in der gleichen Weise wie im vorigen Falle die zur Bestimmung der Abbildung erforderlichen Strahlen, so erhalten wir zunächst

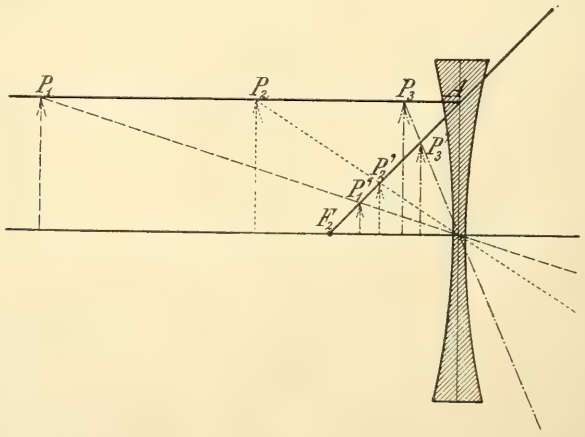


Fig. 12.

als Abbildung des der Achse parallelen Strahles P_1A, Fig. 12, den Strahl F_2A, während die Centralstrahlen natürlich in der gleichen Weise verlaufen, wie bei der Convexlinse.

Die von dem sehr weit entfernten Punkte P_1 ausgehenden beiden Strahlen schneiden sich somit nach der in Fig. 12 dargestellten Construction in dem Punkte P_1' und wir erhalten also in dieser Ebene ein verkleinertes, aufrechtes, virtuelles Bild.

Rückt der Punkt P näher an die Linse heran, so wird offenbar der Winkel, den der Centralstrahl mit der Achse der Linse bildet, immer mehr vergrössert, und es wird somit der Durchschnittspunkt, wie aus der Construction ersichtlich ist, immer näher an die Linse heranrücken, wobei die Grösse des Bildes sich der des Objectes immer mehr annähert. So fällt offenbar die Abbildung von P_2 nach P_2', die von P_3 nach P_3'. Das Bild des Objectes bleibt aber stets auf der Objectseite und wir erhalten somit stets ein virtuelles Bild.

§ 17. Wir können also die Abbildungsweise einer Concavlinse in den einen Satz zusammenfassen:

Eine Concavlinse liefert in allen Fällen ein aufrechtes virtuelles Bild, das sich zwischen Brennpunkt und Linse befindet und um so mehr verkleinert ist und dem Brennpunkt um so näher liegt, je weiter das Object von der Linse entfernt ist.

3. Die Abbildung durch Combinationen von Linsen.

§ 18. Für die bei optischen Instrumenten in Betracht kommenden Linsensysteme kann als feststehende Regel gelten, dass die Achsen der verschiedenen Linsen zusammenfallen, dass somit alle Brenn- und Hauptpunkte derselben auf einer Geraden, der Achse des Systems, gelegen sind. Man bezeichnet ein solches Linsensystem als centriert.

Handelt es sich nun darum die Abbildungsweise eines derartigen Linsensystems zu ermitteln, so kann man offenbar in der Weise verfahren, dass man für jede einzelne Linse die Cardinalpunkte ermittelt und mit Hilfe derselben der Reihe nach durch Construction feststellt, welche Veränderungen das von der ersten Linse entworfene Bild durch die darauf folgenden Linsen erleidet.

Befinden sich also z. B. die Brennpunkte der beiden Linsen A und B, Fig. 13, in Fa^1 und Fa^2, resp. Fb^1 und Fb^2 und will man das von diesen beiden Linsen entworfene Bild des Punktes P_1 bestimmen, so kann man dies in der Weise ausführen, dass man zunächst in der gewöhnlichen Weise das von der Linse A allein erzeugte Bild von P_1 ermittelt; dasselbe liegt nach der in der Figur ausgeführten Construction offenbar in P_2. Von diesem Bilde P_2 construiert man dann ebenfalls in der gewöhnlichen Weise das von der Linse B erzeugte Bild. Man erhält so

offenbar ein in P_3 befindliches virtuelles Bild, und es stellt folglich auch P_3 das von dem Linsensysteme A B gelieferte Bild von P_1 dar.

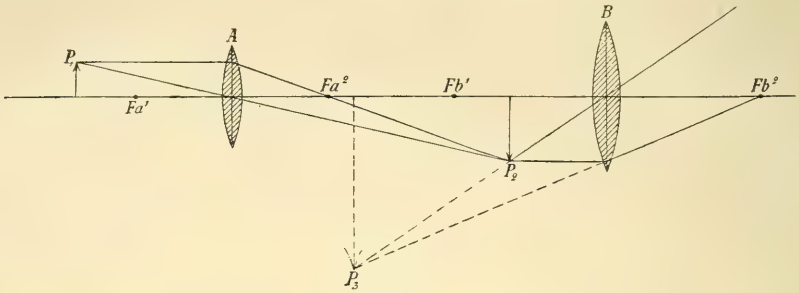


Fig. 13.

§ 19. Handelt es sich aber um eine grössere Anzahl von Linsen, so würden solche Constructionen natürlich sehr compliciert und unübersichtlich werden; man kommt denn auch in diesem Falle auf rechnerischem Wege schneller zum Ziele. Es würde jedoch zu weit führen, wenn wir auf diese Berechnungen hier näher eingehen wollten. Dahingegen sei an dieser Stelle ganz besonders hervorgehoben, dass für centrierte Linsensysteme ganz die gleichen Abbildungsgesetze gelten, wie für einfache Linsen. Speciell lassen sich bei ihnen in der gleichen Weise wie für eine einzige Linse Brenn- und Hauptpunkte ermitteln, die zu der Abbildung in der gleichen Beziehung stehen, wie wir im § 3 für einfache Linsen angegeben haben. Die Lage dieser Cardinalpunkte eines Linsensystems lässt sich auch aus der Lage der Cardinalpunkte der einzelnen Linsen und aus der Entfernung derselben durch Rechnung ableiten. Wir wollen uns jedoch in dieser Hinsicht darauf beschränken, in einem späteren Abschnitte zu zeigen, wie sich diese Cardinalpunkte für die beiden Hauptlinsensysteme des Mikroskops, das Objectiv und das Ocular, empirisch bestimmen lassen.

§ 20. Eine besondere Besprechung verlangt jedoch noch der bei manchen optischen Apparaten vorkommende Fall, in dem die von einer Linse erzeugten Strahlenkegel, bevor sie zur wirklichen Vereinigung gelangen, von einer anderen Linse aufgefangen werden. Wir können nun auch in diesem Falle mit Hilfe der gewöhnlichen Construction das wirklich entstehende Bild leicht ermitteln. Es stelle z. B. P, Fig. 14, einen solchen reellen Bildpunkt dar, und es mögen ferner die auf denselben fallenden Strahlen

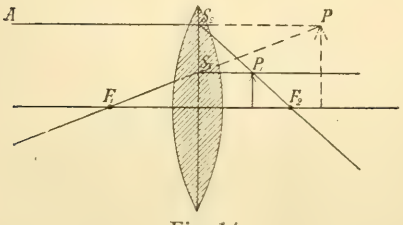


Fig. 14.

vor ihrer Vereinigung von der Linse aufgefangen werden. Wir können dann zur Construction des wirklich entstehenden Bildes von den nach P hinzielenden Strahlen einerseits den parallel der Achse verlaufenden Strahl $A S_2 P$ benutzen, dieser geht nach § 3 nach der Brechung durch die Linse durch den zweiten Brennpunkt derselben (F_2). Dahingegen geht der durch den ersten Brennpunkt gehende Strahl $F_1 S_1 P$ nach der Brechung offenbar der Achse parallel. Der Schnittpunkt (P_1) der so gefundenen Strahlen stellt also die gesuchte Abbildung dar.

4. Die Bilderzeugung im Auge.

§ 21. Für das volle Verständnis der Wirkungsweise der optischen Instrumente ist natürlich die Kenntnis der Bilderzeugung im Auge unerlässlich, und es soll deshalb auch in diesem Capitel die im menschlichen Auge stattfindende Abbildung in ihren Hauptpunkten erörtert werden.

Was nun zunächst den anatomischen Bau des menschlichen Auges anlangt, so sei erwähnt, dass dasselbe 3 verschiedene durchsichtige Medien, die nach aussen von der ebenfalls durchsichtigen Hornhaut (H. Fig. 15) begrenzt werden, enthält. An die Hornhaut schliesst

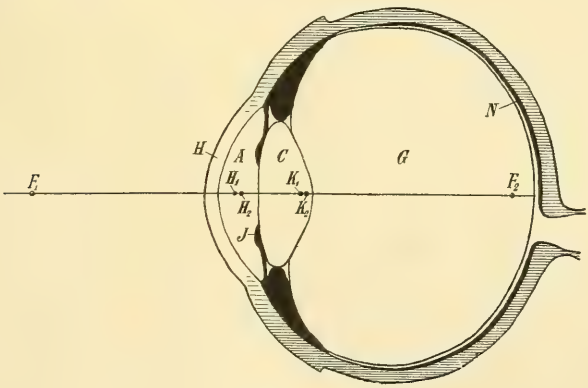


Fig. 15.

sich zunächst die vordere Augenkammer (A) an, die von einer Flüssigkeit (Humor aqueus) erfüllt ist. An diese grenzt sodann, durch die Iris (I) geschieden, die Krystallinse (C). Zwischen dieser und der Netzhaut (N) befindet sich schliesslich der sogenannte Glaskörper (G) der in seinem Brechungsindex ungefähr mit dem Inhalt der vorderen Augenkammer übereinstimmt, während die Krystallinse einen erheblich höheren Brechungsindex besitzt.

§ 22. Damit wir nun mit dem Auge einen ausserhalb desselben befindlichen Gegenstand deutlich sehen, ist bekanntlich nothwendig, dass auf der Netzhaut ein scharfes Bild jenes Gegenstandes erzeugt wird. Bei dieser Bilderzeugung kommen natürlich sämmtliche vor der Netzhaut liegenden Theile des Auges in Betracht, und es findet streng genommen an allen Begrenzungsflächen derselben eine Brechung der einfallenden Lichtstrahlen statt; für unsere Betrachtungen genügt es aber zu wissen, dass die Bilderzeugung im Auge genau in der gleichen Weise stattfindet, als wenn in demselben nur eine einfache Brechung einträte. Man hat auch ein aus homogener Substanz bestehendes, sogenanntes „reduciertes Auge“ berechnet, das sehr annähernd die gleiche Abbildung wie das normale Auge bewirkt und auch nahezu den gleichen äusseren Umriss wie dieses besitzt.

Für dies reducierte Auge, das wir im folgenden unseren Betrachtungen zugrunde legen wollen, lässt sich nun aus den Cardinalpunkten in gleicher Weise die gesammte optische Wirkung ableiten wie für eine einfache Linse. Eine Besonderheit besteht hier nur insofern, als sich bei der Abbildung im Auge nicht mehr wie in den zuvor betrachteten Fällen zu beiden Seiten der Linse das gleiche Medium (Luft) befindet; vielmehr findet ja in diesem Falle die Bilderzeugung innerhalb der mit der Masse des Glaskörpers erfüllten Augenkammer statt, die nahezu den gleichen Brechungsindex wie Wasser besitzt.

§ 23. Für ein solches System ist bemerkenswert, dass die beiden Brennweiten voneinander verschieden sind, und es gilt infolge dessen auch für dasselbe der in § 12 angeführte Satz nicht mehr, nach dem ein im ersten Medium durch den ersten Hauptpunkt gehender Strahl nach der Brechung im zweiten Hauptpunkt mit der Achse den gleichen Winkel bildet, wie vor der Brechung im ersten Hauptpunkt. Diese Eigenschaft kommt hier zwei anderen Cardinalpunkten, den sogenannten Knotenpunkten zu, die also dadurch definiert sind, dass ein durch den ersten Knotenpunkt gehender Strahl nach der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt geht und hier mit der Achse den gleichen Winkel bildet wie der einfallende Strahl im ersten Knotenpunkte. Für die Hauptpunkte gilt dagegen auch für ein solches System der Satz dass in den durch sie gelegten auf der Achse senkrecht stehenden Ebenen eine Abbildung ohne Vergrösserung stattfindet.

§ 24. Wir haben also bei einem derartigen Systeme im ganzen 6 Cardinalpunkte zu unterscheiden. Die Entfernung derselben von der vorderen Fläche der Hornhaut ist nun aus folgender von Helmholtz (I, 140) aufgestellten Tabelle, nach der auch die betreffenden Punkte in der Fig. 15 eingetragen sind, ersichtlich:

	Accommodation auf die	
	Ferne	Nähe
Vorderer Brennpunkt	−13·745 *mm*	−12·132 *mm*
Hinterer „	22 819 „	20·955 „
Erster Hauptpunkt	1·753 „	1·858 „
Zweiter „	2·106 „	2·257 „
Erster Knotenpunkt	6·968 „	6·566 „
Zweiter „	7·321 „	6·965 „
Daraus ergibt sich für die:		
Vordere Brennweite	15·498 „	13·990 „
Hintere „	20·713 „	18·689 „

Wie aus diesen Zahlenwerten direct ersichtlich ist, liegen die beiden Haupt- und Knotenpunkte weniger als 0·4 *mm* von einander entfernt; sie würden sich also bei der Zeichnung in natürlicher Grösse nur schwer getrennt von einander darstellen lassen und sollen deshalb auch in den folgenden Constructionen zu einfachen Punkten vereinigt werden.

§ 25. Handelt es sich nun zunächst darum, das von einem beliebigen Punkte P (Fig. 16) im Auge erzeugte Bild zu ermitteln, so

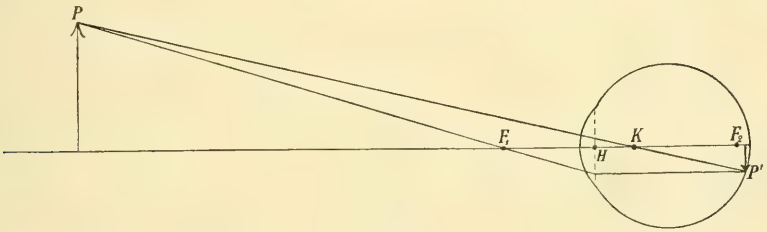


Fig. 16.

können wir offenbar einerseits den durch den vorderen Brennpunkt F_1 gehenden Strahl, der im Auge der Achse parallel läuft, zur Construction benutzen und andererseits den durch den vorderen Knotenpunkt gehenden Centralstrahl (P K), der ungebrochen und, wenn wir uns die beiden Knotenpunkte zusammenfallend denken, auch ohne Parallelverschiebung das Auge durchsetzt. Wir erhalten so offenbar P′ als Abbildung von P.

§ 26. An der Hand der obigen Tabelle können wir uns nun aber ferner auch die bemerkenswerte Thatsache klar machen, dass die Cardinalpunkte nicht nur in verschiedenen Augen, sondern auch in dem gleichen Auge bei verschiedener Accommodation eine verschiedene Lage besitzen. Durch diese Accommodation, die in erster Linie auf Gestaltsveränderungen der Krystallinse beruht, wird es möglich gemacht, dass in demselben Auge nacheinander von verschieden weit entfernten Körpern auf der

Netzhaut scharfe Bilder erzeugt werden, während wir ohne dieselbe nur solche Körper, die in einer ganz bestimmten Entfernung liegen, scharf zu sehen vermöchten.

Für jedes einzelne Auge besteht nun aber eine ganz bestimmte Entfernung, in der es kleine Gegenstände, z. B. gewöhnliche Druckschrift, am deutlichsten und ohne Anstrengung zu erkennen vermag. Diese Entfernung, die deutliche Sehweite des betreffenden Auges beträgt bei normalen Augen ca. 25 *cm*. und es wird deshalb auch die Entfernung von 25 *cm* als die „normale Sehweite" bezeichnet. Als kurzsichtig oder myopisch bezeichnet man dagegen solche Augen, bei denen die deutliche Sehweite beträchtlich geringer ist als 25 *cm*, die also näher gelegene Gegenstände am deutlichsten zu sehen vermögen. Im Gegensatze hierzu beträgt bei den weitsichtigen oder hypermetropischen Augen die deutliche Sehweite mehr als 25 *cm*.

Wollen wir nun das von einer Linse entworfene Bild deutlich wahrnehmen, so ist offenbar nur nöthig, dass wir dasselbe in die Entfernung der deutlichen Sehweite bringen. Im übrigen spielt bei der Beobachtung virtueller und reeller Bilder durch das Auge der Oeffnungswinkel eine grosse Rolle, und es soll deshalb erst im nächsten Abschnitt auf diesen Gegenstand näher eingegangen werden.

5. Der Oeffnungswinkel und die numerische Apertur.

§ 27. Wie wir später noch näher sehen werden, ist ein für das optische Vermögen einer Linse sehr wichtiger Factor der Oeffnungswinkel derselben. Als solchen bezeichnet man den Winkel, den die sogenannten „Randstrahlen", d. h. diejenigen Strahlen, welche den von einem Punkte des zu beobachtenden Objectes ausgehenden Strahlenkegel begrenzen, mit einander bilden. In dem in Fig. 17 dargestellten einfachsten Falle wird nun offenbar der von dem auf der Achse gelegenen Punkte P ausgehende Strahlenkegel begrenzt durch die Verbindungslinie dieses Punktes mit dem Rande der Linse (AB), also durch die Randstrahlen PA und PB. Es stellt folglich in diesem Falle der Winkel APB den Oeffnungswinkel der Linse AB dar.

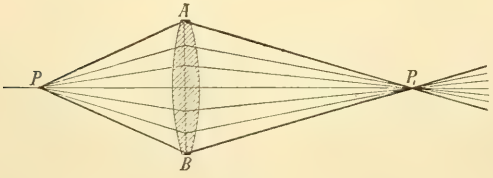


Fig. 17.

§ 28. Bei den meisten Apparaten wird aber die Strahlenbegrenzung durch eine bald in der Mitte des Systems, bald auch hinter demselben angebrachte Blendung bewirkt. Es sind dies im allgemeinen Metallplatten

mit kreisförmigem Ausschnitt, die z. B. bei den Mikroskopobjectiven häufig am oberen Rande derselben sichtbar sind. Die Wirkungsweise derartiger Blendungen kann man sich nun leicht durch Construction klar machen und auch nach Kenntnis der nöthigen Constanten den Einfluss derselben auf den Oeffnungswinkel genau bestimmen. Handelt es sich z. B. darum, den Strahlenkegel zu ermitteln, der von der Blendung B B (Fig. 18), deren Oeffnung durch die Strecke $B_1 B_2$ dargestellt wird, begrenzt wird, so könnte man in der Weise verfahren, dass man zuerst in der gewöhnlichen Weise von dem Punkte P die Abbildung (P_1) ermittelt und dann rückwärts die zu den im Bildraum befindlichen Randstrahlen $P_1 B_1 S_1$ und $P_1 B_2 S_2$ coordinierten Strahlen $P S_1$ und $P S_2$ bestimmt; offenbar wird ja durch diese Strahlen der Oeffnungswinkel des Systems bestimmt, denn alle ausserhalb dieser Randstrahlen gelegenen Strahlen werden ja im Bildraum von der Blendung aufgefangen und können also nicht zu dem jenseits dieser Blendung gelegenen Bildpunkte P_1 gelangen.

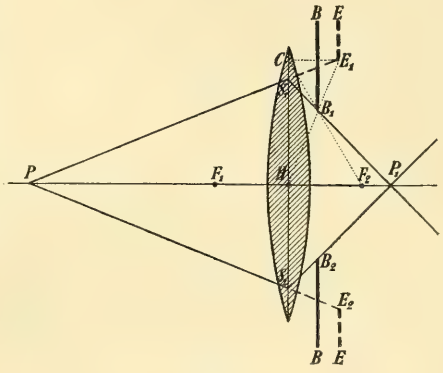


Fig. 18.

§ 29. In den meisten Fällen kann man nun aber die gesammte Wirkungsweise einer Blendung am besten übersehen, wenn man das Bild construiert, welches von den vor der Blendung befindlichen Linsen vom Rande der Blendung entworfen wird. Offenbar müssen alle Strahlen, die im Objectraum auf dies Bild (E_1, E_2, Fig. 18) hingerichtet sind, im Bildraum den Rand der wirklichen Blendung schneiden.

Die Construction dieses Bildes der Blendung kann natürlich nach § 8 ohne Schwierigkeit ausgeführt werden und ist auch im oberen Theile der Figur unter Benutzung des Centralstrahles ($H B_1$) und des durch den einen Brennpunkt (F_2) gehenden Strahles ($F_2 B_1$) durch die fein punktierten Linien angedeutet. Da sich die Blendung in diesem Falle, wie übrigens meistens, innerhalb der einfachen Brennweite befindet, erhalten wir nach § 15 ein vergrössertes virtuelles Bild $E_1 E_2$, und wir können nun den Oeffnungswinkel bestimmen, indem wir die Strahlen $P E_1$ und $P E_2$ ziehen; derselbe wird offenbar durch den Winkel $E_1 P E_2$ dargestellt.

§ 30. Das im vorstehenden durch Construction ermittelte Bild ($E_1 E_2$) der Blendungsöffnung ($B_1 B_2$) spielt nun in der Theorie der optischen Instrumente eine grosse Rolle und wurde von Abbe als die

Eintrittspupille bezeichnet. Diese stellt also dasjenige Bild dar, welches von der Blendungsöffnung durch die vor der Blendung befindlichen Linsen oder Linsensysteme entworfen wird. Befindet sich die Blendung zwischen den verschiedenen Linsen eines Linsensystems, so wird ferner als Austrittspupille dasjenige Bild der Blendungsöffnung bezeichnet, das von den hinter der Blendung befindlichen Linsen entworfen wird. Durch diese Austrittspupille wird offenbar der Oeffnungswinkel des aus dem betreffenden System austretenden Strahlenkegels bestimmt. Diese Begrenzung wird in dem in Fig. 18 dargestellten Falle natürlich durch die Blendung selbst bewirkt, die also hier mit der Austrittspupille zusammenfällt.

§ 31. Unter Benutzung der Eintrittspupille ist es nun ferner leicht einzusehen, dass der Oeffnungswinkel einer Linse in hohem Grade von der Entfernung des zu beobachtenden Punktes von der Linse abhängig ist. Offenbar ist ja die Lage der Eintrittspupille von der Lage des Punktes P_1 (Fig. 19) ganz unabhängig, und wir erhalten den

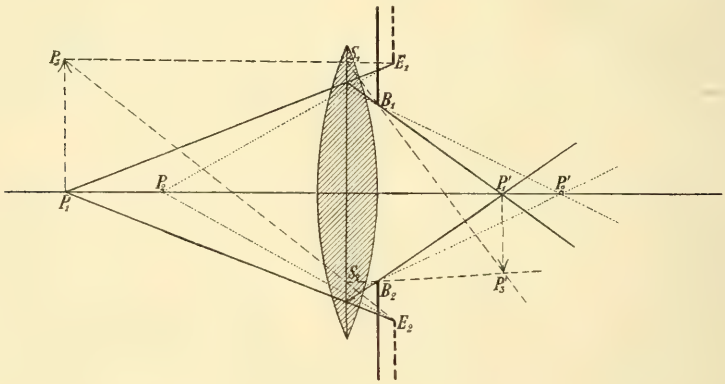


Fig. 19.

Oeffnungswinkel des von einem beliebigen Punkte P_2 ausgehenden Strahlenkegels, wenn wir denselben ebenfalls mit dem Rande der Eintrittspupille verbinden, wenn wir also die Linien $P_2 E_1$ und $P_2 E_2$ ziehen; es stellt dann $E_1 P_2 E_2$ den gesuchten Oeffnungswinkel dar. Es leuchtet nun wohl aus der Figur 19 ohne weiteres ein, dass dieser Oeffnungswinkel um so grösser wird, je mehr sich der Punkt P der Linse annähert.

Ebenso kann man nun übrigens die Eintrittspupille auch dazu benutzen, den Oeffnungswinkel eines ausserhalb der Achse befindlichen Punktes zu bestimmen. Offenbar stellt $E_1 P_3 E_2$ (Fig. 19) den Oeffnungswinkel des vom Punkte P_3 ausgehenden Strahlenkegels dar.

§ 32. Beiläufig sei an dieser Stelle erwähnt, dass man die Eintrittspupille auch sehr gut dazu benutzen kann, die Abbildung eines beliebigen

Punktes zu finden. Offenbar gehen ja z. B. die beiden von P_3 nach E_1 und E_2 hinzielenden Randstrahlen im Bildraum durch die Punkte B_1 und B_2, da ja E_1 und E_2 die Bilder von B_1 und B_2 darstellen. Ferner gehen sie aber auch durch die Schnittpunkte (S_1, S_2), die die Strahlen $P_3 E_1$ und $P_3 E_2$ mit der Hauptebene bilden, da ja nach § 11 in diesen eine Abbildung ohne Vergrösserung stattfindet. Durch die beiden Punktpaare S_1 und B_1 (resp. S_2 und B_2) ist nun aber die Abbildung der beiden Randstrahlen und durch den Durchschnittspunkt von diesen (P'_3) die Abbildung des Punktes P_3 eindeutig bestimmt.

Diese Methode kann namentlich dann mit Vortheil verwendet werden, wenn es sich darum handelt, die Abbildung eines auf der Achse gelegenen Punktes zu finden, wo ja die oben beschriebene Methode gänzlich im Stich lässt. Offenbar ergibt sich ja in dieser Beziehung in ganz gleicher Weise, dass die Abbildung von P_2, Fig. 19, in P'_2 gelegen ist.

§ 33. Beachtenswert ist nun zunächst noch, dass der Winkel, den die Randstrahlen eines beliebigen Lichtkegels mit einander bilden, beim Uebergang in ein Medium mit abweichendem Brechungsindex auch dann eine Aenderung erleidet, wenn die Grenzfläche der beiden Medien eine ebene Fläche bildet. Tritt z. B. der durch die Randstrahlen P Q und P Q_1, Fig. 20, begrenzte Strahlenkegel in der Ebene L L aus Luft in Glas über, so werden diese Strahlen bekanntlich nach dem Einfallslothe $(N_1 N_2)$ hingebrochen. Allgemein gefasst besteht ja nach dem Brechungsgesetze zwischen dem Einfallswinkel $(P Q N_1 = i)$ und dem Brechungswinkel $(R Q N_2 = i')$ eine derartige Beziehung, dass

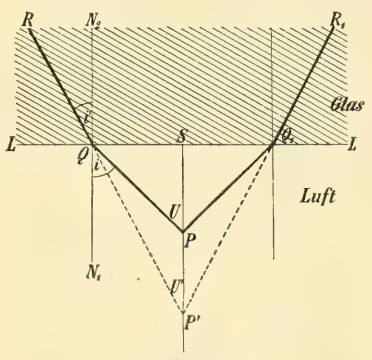


Fig. 20.

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n'}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 1)$$

wobei n den Brechungsindex des ersten Mediums (Luft), n' den des zweiten (Glas) bedeutet. Es ergibt sich hieraus

$$\sin i' = \frac{\sin i \,.\, n}{n'}.$$

Wenn, wie in unserem Falle n (für Luft!) $= 1$ ist, so erhalten wir ferner:

$$\sin i' = \frac{\sin i}{n'};$$

setzen wir also den Brechungsindex des Glases $= 1{,}528$, so erhalten wir:

$$\sin i' = \frac{\sin i}{1{,}528}$$

und z. B. für einen Einfallswinkel von 46^0 für i' einen Wert von 28^0.

Aus der Fig. 20 ist nun übrigens ferner leicht ersichtlich, dass die Winkel i und i' den halben Oeffnungswinkeln der betreffenden Strahlenkegel gleich sind. Den im zweiten Medium (Glas) bestehenden Oeffnungswinkel erhalten wir ja offenbar, wenn wir uns die Strahlen QR und Q_1R_1 bis zu ihrem Schnittpunkte (P') nach rückwärts verlängert denken. Nun wird aber sowohl der Winkel $QP'Q_1$ als auch der ursprüngliche Oeffnungswinkel QPQ_1 durch die auf LL senkrecht stehende Gerade SPP' halbiert, und es ist ferner offenbar der Winkel $N_1QP = QPS$ und ferner der Winkel $RQN_2 = N_1QP' = QP'S$. Bezeichnen wir nun die halben Oeffnungswinkel mit u und u', so besteht also, da nach obigem $u = i$ und $u' = i'$, nach Gleichung (1) zwischen u und u' die Beziehung, dass

$$\frac{\sin u}{\sin u'} = \frac{n'}{n}$$

oder

$$\sin u' = \frac{\sin u \,.\, n}{n'} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 2)$$

Aus der letzten Gleichung folgt zunächst, dass wir den in einer beliebigen Substanz auftretenden Oeffnungswinkel aus dem in einer anderen Substanz beobachteten Oeffnungswinkel und dem Brechungsindex der beiden Substanzen berechnen können. Ebenso ist es nun aber nach obiger Gleichung möglich, für den in einer beliebigen Substanz von dem Brechungsindex n' beobachteten Oeffnungswinkel u' den entsprechenden auf Luft bezogenen Oeffnungswinkel u zu berechnen. Es ist ja dann $n = 1$ und wir erhalten

$$\sin u = n' \sin u'. \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3)$$

§ 34. Es liegt nun offenbar nahe, wenn es sich darum handelt, den Oeffnungswinkel eines Systemes anzugeben, diesen durch den in Luft beobachteten oder nach obiger Formel (3) umgerechneten Oeffnungswinkel zu bezeichnen. Einer allgemeinen Anwendung dieser Bezeichnungsweise steht jedoch entgegen, dass die Formel (3) in vielen Fällen zu immaginären Werten führt. Es dies offenbar stets der Fall, wenn

$$n' \sin u' > 1 \text{ oder } \sin u' \,.\, > \frac{1}{n'}.$$

Denn wir erhalten dann nach Gleichung 3 für sin u Werte die grösser sind als 1, was ja zu immaginären Werten von u führen würde.

Die physikalische Bedeutung dieser Gleichung lässt sich leicht einsehen, wenn man bedenkt, dass bekanntlich beim Uebertritt eines Strahles aus dem dichteren Medium in das weniger dichte, also z. B aus Glas in Luft, der gebrochene Strahl mit dem Einfallsloth stets einen grösseren Winkel bildet, als der einfallende Strahl. Stellt also z. B. P, Fig. 21, einen in Glas befindlichen Punkt dar, so werden die von ihm

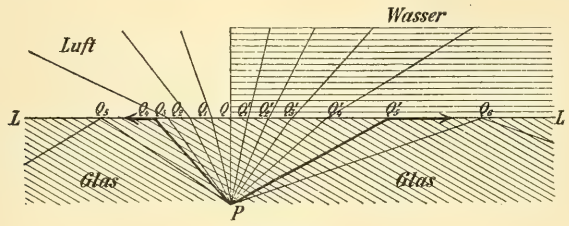


Fig. 21.

ausgehenden Strahlen PQ_1 PQ_2 ... beim Uebertritt in Luft in der Ebene LL (vergl. die linke Seite der Figur) der horizontalen um so mehr angenähert werden, je mehr die einfallenden Strahlen gegen das Einfallsloth divergieren. Nimmt nun die Divergenz gegen die Achse allmählich immer mehr zu, so tritt schliesslich der Fall ein, dass der gebrochene Strahl der Grenzfläche parallel läuft. (cf. PQ_4). Da bekanntlich der Sinus von $90^0 = 1$ ist, so tritt dieser Fall nach Gleichung (3) offenbar ein, wenn

$$n' . \sin u' = 1 \text{ oder } \sin u' = \frac{1}{n'}$$

Es gibt dies z. B. für Glas und Luft, da $n' = 1{\cdot}53$, als Wert für jenen Winkel, der bekanntlich in der Physik als Grenzwinkel bezeichnet wird, die Grösse von 41°. Wird die Divergenz gegen die Normale PQ noch mehr gesteigert, so tritt bekanntlich totale Reflexion ein, wie in der Figur durch den Strahl PQ_5 angedeutet ist.

Aus dem Obigen folgt nun offenbar, dass ein Strahlenkegel aus einem dichteren Medium nur dann vollständig in ein weniger dichtes Medium übertreten kann, wenn sein Oeffnungswinkel nicht grösser ist als der im Obigen definierte Grenzwinkel. Von allen den Strahlen, die diesen Winkel überschreiten, gelangt dagegen nichts in das weniger dichtere Medium: sie werden an der Grenzfläche total reflectiert.

§ 35. Bezüglich jenes Grenzwinkels sei noch erwähnt, dass er natürlich um so grösser ist, je geringer der Unterschied in den Brechungsindices der betreffenden Substanzen ist. So erhält man z. B. beim Uebergang von Glas in Wasser, wenn man in der Gleichung (2) $\sin u = 1$

setzt. $\sin u' = \frac{n}{n'} = \frac{1{,}34}{1{,}53}$. Dies gibt für u' den Wert von 61°. In Fig. 21 ist denn auch auf der rechten Seite zum Vergleich der beim Uebertritt aus Glas in Wasser zu beobachtende Strahlenverlauf dargestellt.

§ 36. Wir werden speciell bei Besprechung der Objective sehen, welche Bedeutung dieser Umstand für die Begrenzung der Strahlen im Mikroskop besitzt, und dass die Vorzüge der Immersionssysteme in erster Linie darauf beruhen, dass sie durch Vermeidung eines Ueberganges aus Glas in Luft bedeutend grössere Werte des Oeffnungswinkels gestatten, als bei Trockensystemen möglich sind. An dieser Stelle ist aber noch zu besprechen, wie auch in derartigen Fällen, wo eine Umrechnung der Oeffnungswinkel in die auf Luft bezogenen Werte zu immaginären Grössen führen würde, eine einheitliche und von der Beschaffenheit des Mediums unabhängige Bezeichnungsweise möglich ist.

Die in dieser Hinsicht von Abbe eingeführte und zur Zeit wohl allgemein acceptierte Bezeichnungsweise basiert auf der Gleichung 2 (§ 33), die sich offenbar auch in der Form

$$n \sin u = n' \sin u'$$

schreiben lässt. Es leuchtet so unmittelbar ein, dass das Product n' sin u' für den gleichen Strahlenkegel beim Uebergang in ein beliebiges Medium stets das gleiche bleibt und somit auch zur eindeutigen Bestimmung eines Oeffnungswinkels benutzt werden kann. Von Abbe wurde nun für dieses Product den Ausdruck „numerische Apertur" eingeführt, und es wird auch in neuerer Zeit die Oeffnung eines Systemes gewöhnlich in dieser Weise angegeben.

Die numerische Apertur (a) eines Systemes ist also bestimmt durch die Gleichung:

$$a = n \cdot \sin u,$$

in der u den halben Oeffnungswinkel darstellt, der innerhalb des Mediums von dem Brechungsindex n gemessen ist. Für den besonderen Fall, dass das zu beobachtende Object sich in Luft befindet, so dass $n = 1$ wird, ist also offenbar $a = \sin u$, mithin die Apertur gleich dem Sinus des halben Oeffnungswinkels.

§ 37. Bei dem Auge functioniert nun als strahlenbegrenzende Blendung bekanntlich die Iris, die sich, wie bereits § 21 erwähnt wurde, inmitten des optischen Systems zwischen der vorderen Augenkammer und Krystallinse befindet (I, Fig. 15 p. 13). Man erhält also die die Begrenzung der einfallenden Strahlen bewirkende Eintrittspupille, indem man das von den vor der Iris liegenden brechenden Flächen erzeugte Bild der Iris berechnet oder construiert, und zwar kommen hier speciell die Hornhaut und die in der vorderen Augenkammer enthaltene Flüssigkeit

in Betracht; das von diesen in Luft entworfene virtuelle Bild der Iris liegt nun nach den Berechnungen von Helmholtz (I, 126) 0·6 *mm* vor dieser und ist ungefähr um $^1/_7$ grösser als dieselbe.

Als Austrittspupille ist hier das von der Krystallinse entworfene Bild der Iris anzusehen, denn durch dieses werden ja die auf die Netzhaut fallenden Strahlenkegel begrenzt. Dieselbe ist nach Helmholtz um 0·1 *mm* der Netzhaut näher gerückt und um c. $^1/_{18}$ vergrössert.

Die Apertur der abbildenden Strahlen beträgt nach Czapski (I. 192) 0·15, was einem Oeffnungswinkel von nur 13 Grad entsprechen würde. Der Oeffnungswinkel der ins Auge gelangenden Strahlen ist natürlich von der Entfernung des zu beobachtenden Objectes abhängig, ist aber bei der verhältnissmässig geringen Ausdehnung der Eintrittspupille im allgemeinen nur äusserst gering.

§ 38. Setzen wir nun den Durchmesser der Irisöffnung = 4 *mm*, was ungefähr zutreffen dürfte, so erhalten wir für die Durchmesser der Ein- und Austrittspupille des Auges die Werte 4·57 und 4·22, die Entfernung derselben voneinander beträgt ferner 0·7 *mm*. In natürlicher Grösse würden sich also die Iris und die Ein- und Austrittspupille nur sehr schwierig gleichzeitig nebeneinander darstellen lassen. Bei der geringen Entfernung der Hauptebenen von der Eintrittspupille (41 *mm*) würde ferner die Construction des Netzhautbildes aus den Randstrahlen mit relativ grossen Fehlerquellen behaftet sein. Aus diesen Gründen ist auch in den folgenden Zeichnungen die Iris ganz fortgelassen und die Grössendifferenz und Entfernung der Ein- und Austrittspupille etwas übertrieben. Zur Construction des Netzhautbildes wurden die durch die Knotenpunkte gehenden Centralstrahlen (c. f. § 23) benutzt; doch sind dieselben in der Zeichnung, um die Uebersichtlichkeit nicht zu beeinträchtigen, meist nicht mit eingetragen.

§ 39. Ausser der Grösse des Oeffnungswinkels ist nun ferner auch die Begrenzung des Sehfeldes eines optischen Apparates im allgemeinen von den in diesem enthaltenen Blendungen und von der Strahlenbegrenzung im Auge abhängig. Um uns nun die hier in Frage kommenden Verhältnisse klar zu machen, wollen wir zunächst die Strahlenbegrenzung etwas näher ins Auge fassen, welche stattfindet, wenn wir mit dem Auge durch eine in mässiger Entfernung vor demselben befindliche Blendung (BB, Fig. 22) hindurchsehen. Dieselbe soll in in der Mitte eine kreisförmige Oeffnung besitzen deren Durchmesser $B_1 B_2$ betragen und die Eintrittspupille ($E_1 E_2$) des Auges erheblich übertreffen soll.

Betrachten wir zunächst den von einem auf der Achse gelegenen Punkte (P) ausgehenden Strahlenkegel, so leuchtet ein, dass dieser den durch die Eintrittspupille des Auges ($E_1 E_2$) begrenzten Oeffnungswinkel vollkommen ausfüllt. Die Strahlen $P E_1$ und $P E_2$ treten ja beide mit

dem Rande der Blendungsöffnung ($B_1 B_2$) nicht in Berührung, und es wird also auch nur ein Theil von den die Blendung passierenden Strahlen ins Auge gelangen können.

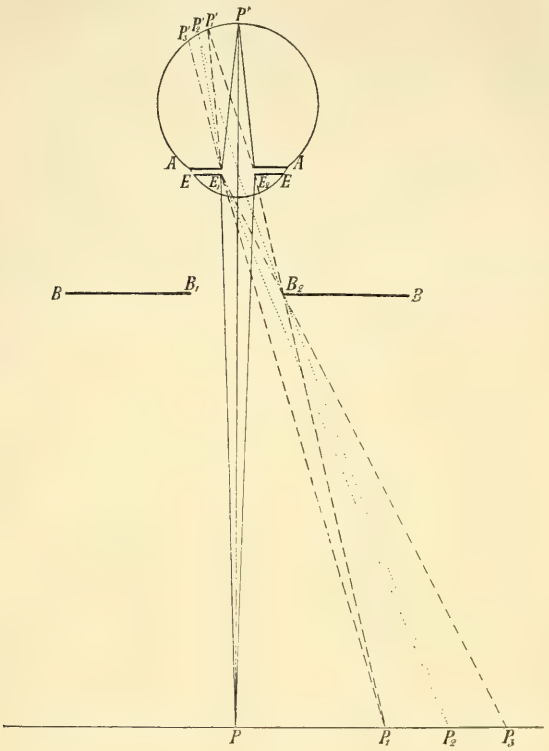


Fig. 22.

Gehen wir nun zu den seitlich von P gelegenen Punkten über, so leuchtet zunächst ein, dass auch von dem Punkte P_1, der in der Verbindungslinie zwischen dem auf der gleichen Seite gelegenen Rande der Eintrittspupille (E_2) und der Blendungsöffnung (B_2) liegt, ein den ganzen Oeffnungswinkel des Auges ausfüllender Strahlenkegel ausgeht. Das Gleiche gilt nun aber nicht mehr für die jenseits P_1 gelegenen Punkte. So wird von dem auf der Verbindungslinie von B_2 mit der Mitte der Eintrittspupille ($E_1 E_2$) gelegenen Punkte (P_2) nur noch der halbe Oeffnungswinkel des Auges ausgefüllt. Von dem Punkte P_3, der auf der Verbindungslinie einander gegenüberliegender Ränder der Blendungsöffnung und der Eintrittspupille liegt, wird dagegen überhaupt kein Licht mehr ins Auge gelangen.

Da nun die Lichtintensität der im Auge erzeugten Bilder offenbar von dem Oeffnungswinkel der ins Auge gelangenden Strahlen abhängig ist, so folgt aus Obigem, dass die zwischen P und P_1 gelegenen Punkte mit der gleichen Intensität im Auge abgebildet werden müssen. Zwischen P_1 und P_3 findet dagegen eine allmähliche Abnahme der Lichtintensität statt, von jenseits P_3 gelegenen Punkten gelangt überhaupt kein Licht mehr ins Auge.

§ 40. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse, wenn wir mit dem Auge ein von einer einfachen Linse oder einem Linsensysteme entworfenes virtuelles Bild betrachten. Wir wollen jedoch der Einfachheit halber direct den Rand der Linse ($B_1 B_2$ Fig. 23) als Blendung

fungieren lassen, und es sei ferner der Durchmesser der Linse kleiner als die Eintrittspupille des Auges ($E_1 E_2$), die in der beistehenden Zeichnung der Deutlichkeit halber abnorm gross dargestellt ist.

Wir wollen nun zunächst wieder denjenigen Strahlenkegel betrachten, der von dem auf der Achse gelegenen Punkte P ausgeht. Derselbe wird offenbar begrenzt durch die Randstrahlen PB_1 und PB_2. Diese werden nun durch die Linse derartig gebrochen, dass sie nach dem Austritt aus derselben nach dem Bildpunkte von P (derselbe ist in der Figur infolge eines Versehens statt mit P′ ebenfalls mit P bezeichnet) convergieren. Offenbar füllt nun aber der Strahlenkegel $B_2 P' B_1$ die Eintrittspupille des Auges nicht vollkommen aus; die im Punkte P″ der Netzhaut vereinigten Strahlen besitzen somit auch nicht die volle Oeffnung der Austrittspupille des Auges. Ebenso verhält sich nun offenbar

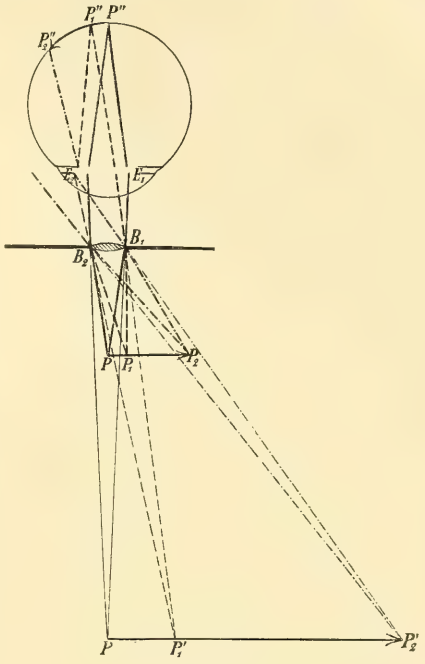


Fig. 23.

der Strahlenkegel, der von dem Punkte P_1 ausgeht, der dadurch charakterisiert ist, dass seine Abbildung P'_1 auf der Verbindungslinie zwischen den auf der gleichen Seite gelegenen Rändern der Linse (B_2) und der Eintrittspupille (E_2) gelegen ist. Es ist wohl aus der Figur sofort ersichtlich, dass der gesammte, von diesem Punkte aus die Linse passierende Strahlenkegel ins Auge gelangt und in dem P'_1 zugeordneten Punkte der Netzhaut (P''_1) vereinigt wird.

Dahingegen fällt nun der Strahlenkegel, der von dem Punkte P_2 ausgeht, dessen Bild P'_2 auf der Verbindungslinie einander gegenüberliegender Ränder der Linse und Eintrittspupille (E_2 und B_1) gelegen ist, ganz ausserhalb der Eintrittspupille, während von den zwischen P_1 und P_2 gelegenen Punkten offenbar ein um so grösserer Theil ins Auge gelangt, je näher derselbe dem Punkte P_1 liegt.

Wir erhalten mithin auf der Netzhaut ein Bild von den zwischen P und P_2 gelegenen Punkten, und zwar werden die zwischen P und P_1 gelegenen Punkte mit der gleichen, dem Oeffnungswinkel der Linse entsprechenden Intensität abgebildet, während zwischen P_1 und P_2 eine allmähliche Abnahme der Lichtintensität stattfindet.

Wollte man nun in diesem Falle eine gleichmässige Helligkeit und scharfe Abgrenzung des Gesichtsfeldes erzeugen, so könnte dies offenbar nur dadurch geschehen, dass man den gesammten jenseits P_1 liegenden Theil des Gesichtsfeldes abblendet. Dies könnte aber ferner nur durch eine in der Ebene P P_1 befindliche Blendung bewirkt werden.

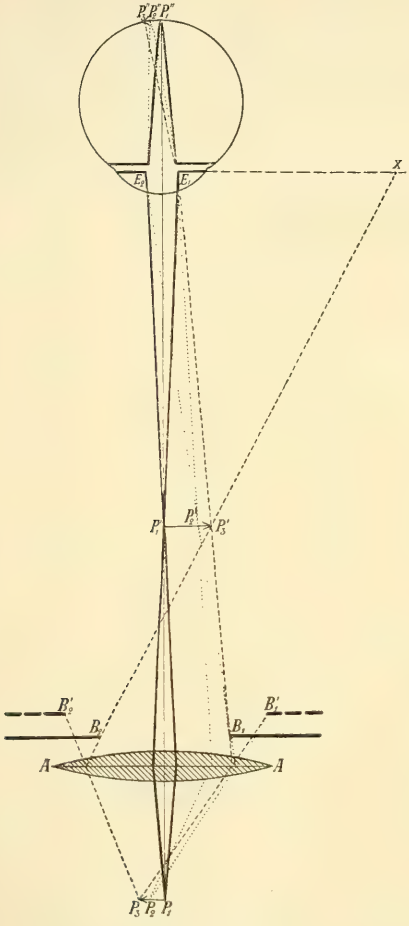


Fig. 24.

§ 41. Die bei der Betrachtung reeller Bilder eintretende Strahlenbegrenzung soll an dem in Fig. 24 abgebildeten Falle klar gemacht werden. In demselben wird durch die Convexlinse A A von dem zwischen der einfachen und doppelten Brennweite befindlichen Objecte (P_1 P_2 P_3) in der Ebene (P'_1 P'_2 P'_3) ein reelles vergrössertes umgekehrtes Bild entworfen; dasselbe werde von dem mit der Linse auf der gleichen Achse gelegenen Auge, dessen Eintrittspupille durch E_1 E_2 dargestellt sei, betrachtet. Die Strahlenbegrenzung in der Linse werde ferner durch die Blendung B_1 B_2, deren Bild sich in B'_1 B'_2 befinde, hervorgebracht.

Offenbar wird dann nur von denjenigen Punkten, die zwischen P_1 und P_3 liegen, überhaupt Licht ins Auge gelangen können, wobei P_3 dadurch charakterisiert ist, dass die Abbildung desselben P'_3 sich auf der Verbindungslinie der auf der gleichen Seite gelegenen Ränder der Linsenblendung und der Eintrittspupille des Auges (E_1 und B_1) befindet. Es ist ja aus der Figur unmittelbar ersichtlich, dass der von P'_3 ausgehende Strahlenkegel (E_1 P'_3 X) ganz ausserhalb des Auges fällt.

Dahingegen werden nun die zwischen P_1 und P_2 gelegenen Punkte mit dem vollen Oeffnungswinkel des Auges und also auch mit gleicher Lichtintensität abgebildet. In dem Punkte P_2, dessen Abbildung P'_2 auf der Verbindungslinie des Blendungsrandes B_1 mit dem gegenüberliegenden Rande der Eintrittspupille (E_2) liegt, fällt ja. wie aus der Figur ersichtlich ist, der linke Rand des die Linse passierenden Strahlenkegels gerade auf

den linken Rand der Eintrittspupille des Auges. Für die zwischen P_2 und P_3 liegenden Punkte wird nun aber der einfallende Strahlenkegel noch mehr nach rechts verschoben, und es wird also auch nur ein Theil des Oeffnungswinkels des Auges von diesem Strahlenkegel ausgefüllt. Bei dem im Auge erzeugten Bilde wird also zwischen P''_2 und P''_3 eine stetige Abnahme der Lichtintensität stattfinden. Eine gleichmässige Helligkeit und scharfe Abgrenzung des Gesichtsfeldes würde in diesem Falle offenbar nur dadurch zu erreichen sein, dass das von den jenseits P_2 liegenden Punkten kommende Licht vollständig abgeblendet wird. Es liesse sich aber die zu diesem Zwecke dienende Blendung ausser in der Objectebene (P_1 P_2 . . .) offenbar auch in der Bildebene (P'_1 P'_2) anbringen. Eine derartige Blendung wird im Gegensatz zn den die Apertur regelnden Blenden als Gesichtsfeldblendung bezeichnet.

§ 42. Da wir nun in diesem Falle das Auge, um das Bild P'_1 P'_3 deutlich zu sehen, in die Entfernung der deutlichen Sehweite bringen müssen und somit der Oeffnungswinkel des in das Auge gelangenden Strahlenkegels nur relativ sehr gering ist, da ferner auch der Oeffnungswinkel der von der Linse ausgehenden Strahlenkegel bei grossem Abstand des Bildes von der Blendung ebenfalls relativ gering ist, so leuchtet ein, dass man von einem derartigen reellen Bilde meist nur einen relativ kleinen Theil gleichzeitig sehen kann. Verschiebt man nun übrigens das Auge in der Ebene E_1 E_2, so werden offenbar immer andere Theile des in der Ebene P'_1 P'_2 P'_3 befindlichen Bildes im Auge abgebildet, und man kann so in der That nach einander das ganze in jener Ebene befindliche Bild betrachten. Man kann übrigens das gesammte Bild gleichzeitig sichtbar machen, wenn man das Bild P'_1 P'_2 P'_3 . . auf einem Schirme von Pauspapier, mattem Glase oder dergl. aufhängt, wie dies ja auch z. B. bei der photographischen Camera durch die matte Einstellscheibe geschieht. Dieselbe hat hier den Zweck, das auf die einzelnen Punkte des Bildes fallende Licht nach allen Richtungen zu zerstreuen, so dass, wenn wir uns wieder an die Bezeichnung in Fig. 24 anschliessen, nicht nur von den zwischen P'_1 und P'_3, sondern auch von den jenseits P'_3 gelegenen Punkten Strahlenkegel ins Auge gelangen können.

§ 43. Eine praktische Anschauung von dem Obigen kann man gewinnen, wenn man das allein von dem Objectiv des Mikroskops entworfene reelle Bild einerseits direct betrachtet, andererseits, nachdem man es auf geöltem Papier oder dergl. aufgefangen hat. Man benützt bei diesem Versuche am besten ein mittelstarkes System und stellt dasselbe bei starker Beleuchtung und unter Benützung des Oculars in der gewöhnlichen Weise auf ein mit grober Zeichnung versehenes Präparat, etwa einen kleinen mit Tusche gezeichneten Buchstaben, ein. Um dann nach Entfernung des Oculars das betreffende Bild direct zu sehen, muss man

das Auge annähernd um die deutliche Sehweite vom oberen Tubusrande entfernen. Man wird dann in der That in Übereinstimmung mit dem Obigen beobachten können, dass man das Auge, um alle Theile des Objectes zu sehen, in horizontaler Ebene verschieben muss. Bringt man dagegen auf den oberen Tubusrand ein Stück Pauspapier oder dergl. und stellt auf dieses scharf ein, so kann man sofort das ganze Bild des Objectes übersehen.

6. Die sphärische Aberration.

§ 44. Während wir bei den bisherigen Betrachtungen die Annahme gemacht haben, dass in allen Fällen durch Linsen und Linsensysteme eine genau punktförmige Abbildung bewirkt wird, findet nun in Wirklichkeit eine solche Abbildung nur in sehr beschränktem Maasse statt, da alle Linsen und Linsensysteme mit mehr oder weniger grossen Abbildungsfehlern behaftet sind. Von diesen ist zunächst die sphärische Aberration zu nennen, die darin besteht, dass die im Object-

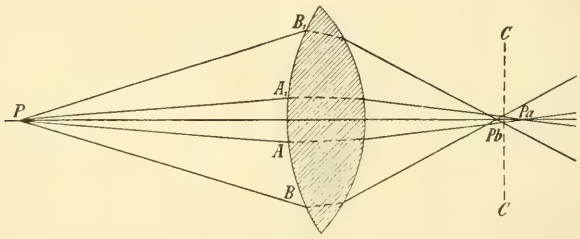


Fig. 25.

raume von einem Punkte der Achse ausgehenden Strahlen im Bildraum nicht genau in einem Punkte vereinigt werden, wie wir dies bisher angenommen haben, sondern in verschiedenen mehr oder weniger weit voneinander entfernten Punkten die Achse schneiden. Speciell bei einer Convexlinse werden, sobald dieselbe eine erhebliche Krümmung besitzt, die in der Nähe des Linsenrandes einfallenden Strahlen (PB u. PB_1 Fig. 25) stärker gebrochen und folglich in einem der Linse näher gelegenen Punkte (Pb) vereinigt, als die in der Nähe der Achse die Linse treffenden Strahlen (PA, PA_1), die im Punkte Pa die Achse schneiden.

§ 45. Bei einem derartigen Systeme kann nun offenbar überhaupt keine getreue Abbildung stattfinden; wir erhalten vielmehr an Stelle des Bildpunktes Zerstreuungskreise, deren Grösse in der in Fig. 25 dargestellten Construction etwa in der Ebene C C am geringsten ist; in dieser Ebene würde man also noch am ersten von einer Abbildung von P reden können. Uebrigens lässt sich in diesem Falle die Ebene, in der die beste

Abbildung stattfindet, die eigentliche „Bildebene", nicht mit Bestimmtheit angeben.

§ 46. Die sphärische Aberration einer Linse ist nun im allgemeinen um so grösser, je stärker die Krümmung derselben ist oder je mehr sich die die Linse begrenzenden Flächen der vollständigen Halbkugel annähern. Da nun aber die Brennweite einer Linse ausser von der Krümmung der Linsenflächen auch von dem Brechungsindex derselben abhängig ist, so leuchtet wohl ohne genauere Berechnungen ein, dass Linsen, die aus verschiedener Substanz bestehen, bei gleicher Brennweite eine verschieden starke Aberration und umgekehrt bei gleicher Aberration eine ungleiche Brennweite besitzen müssen. Wir können uns also auch eine Convex- und eine Concavlinse denken, deren Aberrationen numerisch gleich, aber entgegengesetzt sind, während die aus optisch dichterem Glase bestehende Convexlinse eine stärkere Ablenkung der auffallenden Strahlen bewirkt, eine geringere Brennweite besitzt als die Concavlinse. Würden dann diese beiden Linsen mit einander combinirt, so würden wir offenbar ein System erhalten, in dem die Aberration aufgehoben wäre, das aber infolge der stärkeren Strahlenbrechung der Convexlinse wie eine Convex- oder Sammellinse wirkt.

Dieses Princip wird nun auch in der That zur Aufhebung oder „Correction" der sphärischen Aberration angewandt. Ein Linsensystem aber, bei dem in dieser Weise die sphärische Aberration corrigiert ist, wird als „aplanatisch" bezeichnet. Unter denjenigen Systemen aber, bei denen die sphärische Aberration nicht aufgehoben ist, was unter Umständen (cf. § 103) auch absichtlich geschehen kann, lassen sich zwei Arten unterscheiden. Bei den einen ist die Correctionswirkung der Concavlinsen eine so starke, dass dadurch die von den Convexlinsen bewirkte Aberration nicht nur aufgehoben, sondern sogar eine entgegengesetzte Aberration bewirkt wird. Bei einem solchen System, das als „überverbessert" bezeichnet wird, liegt also, wie in Fig. 26, der Schnittpunkt

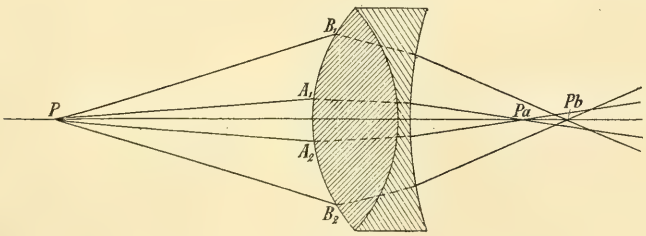


Fig. 26.

(Pb), den die in der Nähe des Linsenrandes einfallenden Strahlen (PB_1, PB_2) im Bildraum mit der Achse bilden, von der Linse weiter entfernt,

als der Schnittpunkt (Pa) der nahe der Achse verlaufenden Strahlen (PA_1, PA_2).

Im Gegensatz hierzu werden Systeme, in denen die Convexlinsen überwiegen, so dass also, wie in Fig. 25, die Randstrahlen die Achse in der Linse näher gelegenen Punkten schneiden, als die in der Nähe der Achse verlaufenden Strahlen, als „unterverbessert" bezeichnet.

§ 47. Von Abbe (I und II) wurde nun übrigens gezeigt, dass ausser der Aufhebung der Aberration für auf der Achse gelegene Punkte auch die Gleichheit der linearen Vergrösserung für alle Strahlenrichtungen in den Grenzen des Oeffnungswinkels für die Entstehung brauchbarer Bilder nothwendige Bedingung ist. Ein volles Verständnis der hier in Frage kommenden Factoren ist jedoch ohne ausführliche mathematische Erörterungen nicht möglich.

Besonders betonen möchte ich jedoch an dieser Stelle, dass auch die best berechneten und exactest ausgeführten Systeme nicht imstande sind, eine vollkommen conforme Abbildung zu liefern. Durch entsprechende Linsencombinationen lässt sich nur eine derartige Compensation der verschiedenen Abbildungsfehler erreichen, dass durch dieselben keine für unser Auge merkliche Störung der Bildschärfe hervorgerufen wird. Es ist in dieser Hinsicht zu beachten, dass das menschliche Auge aus anatomischen und physiologischen Gründen Kreise, deren Durchmesser eine gewisse Grösse nicht übersteigt, als Punkte wahrnimmt. Es genügt also, wenn die durch die sphärische Aberration und die sonstigen Abbildungsfehler bewirkten Zerstreuungskreise unter jene Grenze herabgedrückt werden.

§ 48. Für die Praxis ist ferner noch von grosser Wichtigkeit, dass alle complicierteren Linsensysteme nur bei einer ganz bestimmten Entfernung des abzubildenden Objectes ein möglichst fehlerfreies Bild zu liefern imstande sind. Wird das Object dann aber dem Linsensysteme genähert oder von demselben entfernt, so dass das Bild in eine andere Ebene fällt, so treten im allgemeinen um so grössere Abbildungsfehler auf, je grösser die Abweichung von jener Ebene, für welche das betreffende System die „beste Correction" besitzt.

7. Die chromatische Aberration.

§ 49. Die chromatische Aberration beruht darauf, dass die Brechungsindices der verschiedenen Lichtarten je nach der Farbe (Wellenlänge) desselben verschieden sind, und dass infolge dessen die optischen Constanten auch bei demselben Linsensystem für die verschieden farbigen Strahlen nicht genau gleich sind. Da nun ferner die violetten Lichtstrahlen bekanntlich die stärker brechbaren sind, so ist leicht ver-

ständlich, dass bei einer Convexlinse der Brennpunkt für diese Strahlen näher an der Linse liegt als für die rothen. Fällt also z. B. ein Bündel weisser Lichtstrahlen, wie in Fig. 27, parallel der Achse auf die Linse, so

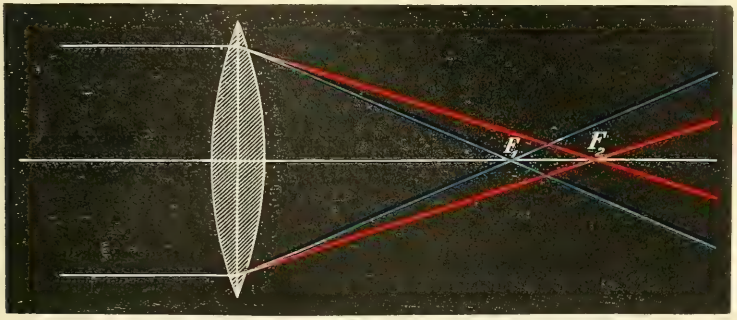


Fig. 27.

werden die blauen Strahlen in F_1, die rothen in F_2 und die Strahlen mittlerer Wellenlänge in den zwischenliegenden Punkten vereinigt.

§ 50. Bei Linsen, die aus verschiedenem Glase gefertigt sind, ist nun ferner der durch die chromatische Aberration bewirkte Fehler um so grösser, je mehr die Brechungsindices für die verschiedenen Farben von einander abweichen, je grössere „Dispersionskraft" dieselben besitzen. Wichtig ist jedoch in dieser Beziehung, dass zwischen Brechung und Zerstreuung keineswegs Proportionalität besteht. So betragen z. B. die Brechungsindices für das den verschiedenen in der Überschrift aufgezählten Frauenhofer'schen Linien entsprechende Licht

	B	D	H
Für Crownglas N. 13.	1,5243	1,5280	1,5447
Für Flintglas N. 13.	1,6277	1,6350	1,6711

Der Unterschied der Brechungsindices für die Linien B und H beträgt also für Crownglas 0,0204, für Flintglas aber 0,0434. Die Dispersion ist somit für das letztere mehr als doppelt so gross wie für das Flintglas, während der Unterschied in der Grösse der Brechungsindices im Verhältniss hierzu gering ist. Denken wir uns also aus jedem dieser Gläser eine Linse mit der gleichen mittleren Brennweite angefertigt, so wird offenbar für die Flintglaslinse die Farbenzerstreuung eine bedeutend grössere sein müssen als für die Crownglaslinse. Umgekehrt würde bei gleicher Farbenzerstreuung die Crownglaslinse eine bedeutend grössere Brennweite besitzen als die Flintglaslinse.

Die Aufhebung der chromatischen Aberration, die chromatische Correction, wird nun in ähnlicher Weise wie die sphärische Correction (s. § 46) dadurch bewirkt, dass Concav- und Convexlinsen derartig mitein-

ander combiniert werden, dass die chromatische Aberration der Convexlinsen durch die Concavlinsen möglichst compensiert wird, ohne dass gleichzeitig die brechende Wirkung der Convexlinsen vollständig aufgehoben wird. Ein derartiges System, das somit wie eine Convexlinse wirkt, wird als „achromatisch“ bezeichnet.

§ 51. Beachtenswert ist nun aber, dass zwischen der Zerstreuung und der Wellenlänge keineswegs eine einfache Proportionalität besteht, und dass somit, wenn bei einem Systeme für zwei Spectralfarben eine vollständige Strahlenvereinigung hervorgebracht ist, das Gleiche keineswegs auch für die übrigen Farben gilt. In der That zeigen auch alle bis vor kurzem fabricierten Linsensysteme, die meist nur für zwei Farben corrigiert sind, für die anderen Farben gewisse Unvollkommenheiten der Achromasie, die als secundäres Spectrum oder secundäre Farbenabweichung bezeichnet werden.

§ 52. Ferner ist zu beachten, dass mit Aufhebung der chromatischen Aberration für Strahlen, die nahe der Achse verlaufen, diese keineswegs auch für stärker geneigte Strahlen aufgehoben zu sein braucht. So ist z. B. das in Fig. 28 abgebildete System für die nahe der Achse ver-

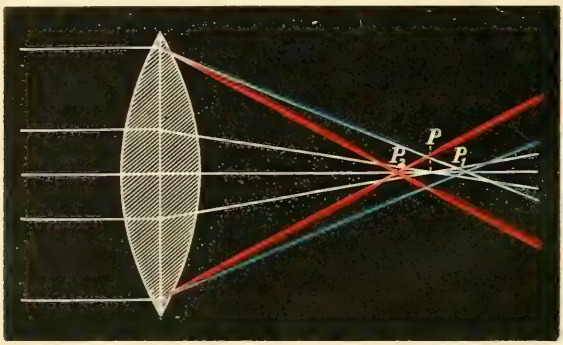


Fig. 28.

laufenden Strahlen, die im Punkte P vereinigt werden, vollständig corrigirt, während die Randstrahlen entsprechend ihrer Wellenlänge zerlegt und die rothen in geringerer, die blauen in grösserer Entfernung von der Linse vereinigt werden. Ein solches System würde also auch nur für Strahlen von mittlerer Wellenlänge völlig aplanatisch sein, während es, wie aus der Vergleichung mit § 46 hervorgeht, für die rothen Strahlen unterverbessert, für die blauen aber überverbessert wäre. Auf Vorschlag von Abbe wird nun diese Art der Farbenabweichung gewöhnlich als die chromatische Differenz der sphärischen Aberration bezeichnet. Dieselbe kann namentlich bei Systemen mit grossem Oeffnungswinkel die Güte des Bildes stark beeinträchtigen. Die Aufhebung derselben war vor der Fabrica-

tion des Jenenser Glases nur innerhalb gewisser Grenzen möglich, und zwar verfuhr man dann zweckmässig in der Weise, dass man nicht die der Achse am meisten genäherten Strahlen, sondern eine mittlere Zone am vollständigsten zu corrigieren suchte, wie dies in Fig. 29 dargestellt ist,

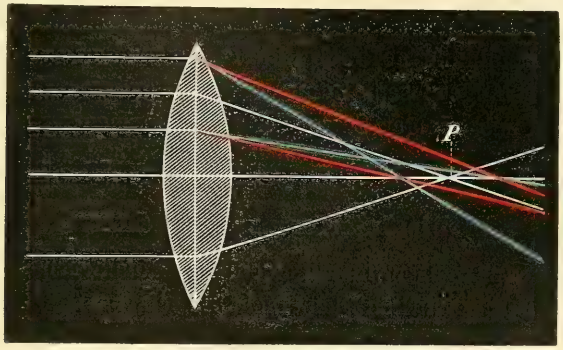


Fig. 29.

in der von den rothen Strahlen die nahe der Achse verlaufenden in geringerer, die Randstrahlen aber in grösserer Entfernung von der Linse vereinigt werden, während für die blauen Strahlen das Entgegengesetzte gilt. Die in einer mittleren Zone gelegenen Strahlen werden dann für beide Farben in dem gleichen Punkte P vereinigt.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass für eine fehlerfreie Abbildung auch erforderlich ist, dass die Vergrösserung der verschieden geneigten Strahlen für alle Farben die gleiche ist, dass die „chromatische Differenz der Vergrösserung“ aufgehoben sein muss.

§ 53. Namentlich mit Hilfe der von der Jenaischen Glasschmelzerei fabricierten Gläser ist es nun aber möglich geworden, alle diese Abbildungsfehler in sehr weitgehender Weise zu reducieren. Die mit Hilfe dieser Gläser zuerst in der optischen Werkstätte von C. Zeiss hergestellten Systeme sind zunächst dadurch ausgezeichnet, dass bei den von ihnen entworfenen Bildern nicht nur 2, sondern 3 Farben in einem Punkte vereinigt werden, so dass das sogenannte secundäre Spectrum so gut wie ganz zum Verschwinden gebracht ist. Ferner ist bei diesen Systemen auch die sphärische Aberration für zwei verschiedene Farben vollständig corrigiert, so dass auch die durch die chromatische Differenz der sphärischen Aberration bedingten Fehler aufgehoben werden. Systeme, die diesen höheren Grad der Achromasie besitzen, werden von Abbe als apochromatische bezeichnet.

Besonders hervorheben will ich noch an dieser Stelle, dass auch bei den apochromatischen Systemen die weitgehende Correction der verschiedenen Abbildungsfehler nur bei einem ganz bestimmten Object-

und Bildabstand eintritt, dass die Apochromate gegen Abweichungen in dieser Hinsicht sogar ganz besonders empfindlich sind.

8. Die Theorie der secundären Abbildung.

§ 54. Von Abbe wurde zuerst auf den fundamentalen Unterschied in der Abbildung selbstleuchtender und nicht selbstleuchtender Körper hingewiesen. Zum Verständnis dieses Unterschiedes ist jedoch die Kenntnis einiger Sätze der theoretischen Optik erforderlich, die zunächst in möglichster Kürze auseinandergesetzt werden sollen.

a) Die Interferenz des Lichtes.

Nach der zur Zeit wohl allgemein angenommenen Undulationstheorie besteht bekanntlich das Licht in einer Wellenbewegung des Lichtäthers, und zwar finden diese Schwingungen im Gegensatz zu denen des Schalles in einer zur Fortpflanzung des Lichtes senkrechten Richtung statt. Während also z. B. eine Punktreihe, die durch eine Schallwelle erregt wird, die in Fig. 30, I dargestellte Anordnung zeigt, gibt eine von einer Lichtwelle erregte Punktreihe ein Bild wie Fig. 30, 2.

§ 55. Man bezeichnet nun die grösste Entfernung von der Gleichgewichtslage, die Grösse ab Fig. 30, als die Amplitude, dieselbe ist

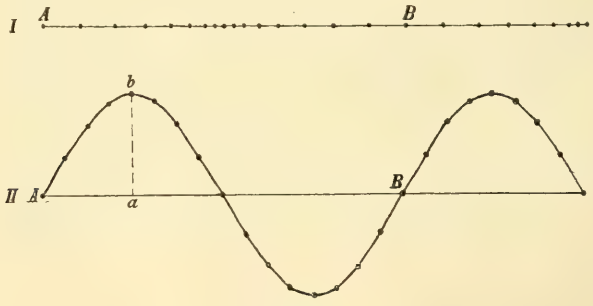


Fig. 30.

das Maass für die Intensität des Lichtes, und zwar ist diese proportional dem Quadrat der Amplitude.

Die Entfernung von zwei Punkten des gleichen Bewegungszustandes, der gleichen „Phase“, also z. B. die Strecke A B Fig. 30, II, bezeichnet man ferner als die Wellenlänge. Dieselbe ist verschieden je nach der Farbe des Lichtes und je nach dem Medium, in dem die Fortpflanzung des Lichtes stattfindet. Für eine Anzahl der Frauenhofer'schen Linien findet sich die absolute Grösse der in atmosphärischer Luft gemessenen Wellenlängen in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Frauenhofer'sche Linien	A	B	C	D	E	F	G	H
Wellenlängen in μ	0·76	0·69	0·65	0·59	0·53	0·49	0·43	0·40

§ 56. Für das Folgende sind nun in erster Linie die sogenannten Interferenzerscheinungen von Wichtigkeit. Dieselben treten ein, wenn sich mehrere Wellenbewegungen gleichzeitig in einer Richtung fortpflanzen. Je nach dem Phasenunterschied tritt in diesem Falle bald eine Verstärkung, bald eine Verminderung der Amplitude ein. Ich will hier auf die diesbezüglichen Berechnungen nicht näher eingehen, sondern versuchen, das, worauf es für unsere späteren Auseinandersetzungen in erster Linie ankommt, durch Construction klar zu machen.

Offenbar erhält man die Lage, welche ein gleichzeitig von zwei Wellenbewegungen getroffenes Aethertheilchen einnimmt, wenn man einfach die von den beiden interferierenden Einzellwellen erzeugten Abweichungen von der Gleichgewichtslage summiert, wobei aber natürlich

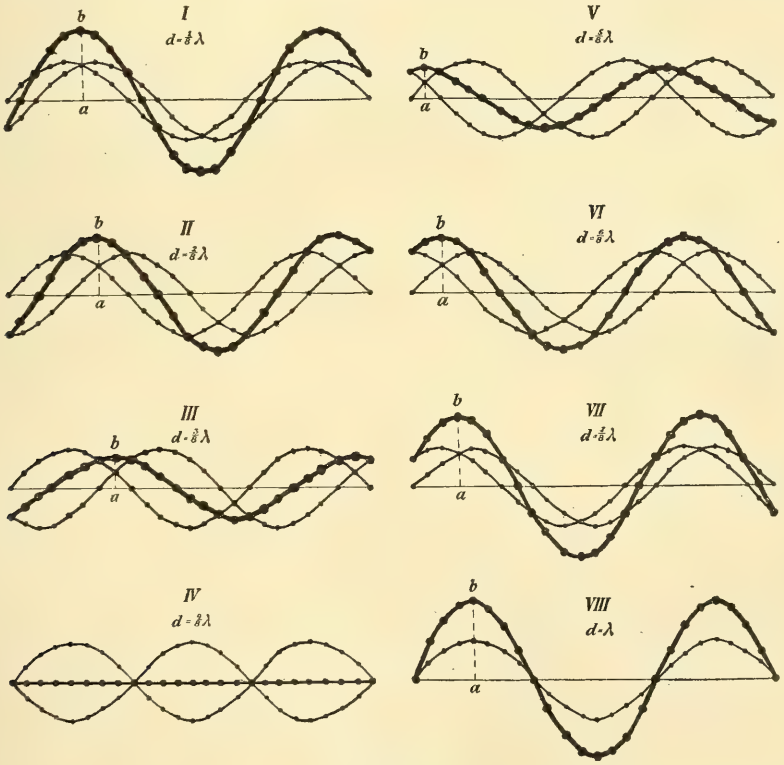


Fig. 31.

die nach entgegengesetzten Seiten gerichteten Bewegungen voneinander zu subtrahieren sind. In Fig. 31 ist nun in dieser Weise für die beiden zarter gezeichneten Wellenbewegungen die stärker ausgezogene Resul-

tierende construiert, und zwar differieren die beiden miteinander interferierenden Wellen um die in der Figur als d bezeichneten Strecken, wobei für Wellenlänge dem in der physikalischen Literatur herrschenden Usus entsprechend der Buchstabe λ gesetzt ist.

Es ist nun aus diesen Constructionen unmittelbar ersichtlich, dass bei sämmtlichen Phasendifferenzen die Wellenlänge der resultierenden Welle mit der der interferierenden Wellen übereinstimmt. Ferner erhält man offenbar die grösste Amplitude (a b) in dem in Fig. VIII dargestellten Falle, in dem die Differenz der Wellenlängen gerade eine ganze Wellenlänge beträgt. Es fallen dann offenbar die beiden Wellenlinien vollkommen aufeinander, so dass eine vollständige Summation der beiden Wellenbewegungen stattfinden muss. Die Amplitude der Resultierenden ist somit in diesem Falle genau doppelt so gross wie die der beiden Componenten.

Im Gegensatz hierzu findet eine vollständige Aufhebung der beiden interferierenden Wellen statt, wenn ihre Phasendifferenz, wie in dem Fig. IV dargestellten Falle, eine halbe Wellenlänge beträgt. Bei dieser Phasendifferenz würden ja offenbar die beiden Einzelwellen stets gleiche, aber nach entgegengesetzten Seiten gerichtete Abweichungen von der Gleichgewichtslage erzeugen, sie werden sich somit vollständig aufheben.

Zwischen diesen beiden Extremen findet nun offenbar ein ganz allmählicher Uebergang statt, bei $d = \frac{3}{8}$ oder $\frac{5}{8}\,\lambda$ ist die Amplitude der Resultierenden noch geringer als die der Einzelwellen, bei $d = \frac{2}{8}$ oder $\frac{6}{8}\,\lambda$ ist sie bereits etwas grösser, noch grösser aber für $d = \frac{1}{8}\,\lambda$ oder $\frac{7}{8}\,\lambda$.

§ 57. Ein entsprechendes Resultat erhält man nun aber auch, wenn die Differenz der Weglängen mehr als eine Wellenlänge beträgt, also z. B. zwischen einer und zwei Wellenlängen liegt. In diesem Falle wird offenbar, wenn $d = 2\,\lambda$ ist, eine einfache Summation, bei $d = 1\frac{1}{2}\,\lambda$ eine vollständige Aufhebung der beiden interferierenden Wellen eintreten.

Wir gelangen so schliesslich zu dem allgemeinen Resultate: Die durch Interferenz zweier Wellenbewegungen entstehende Welle besitzt ein Maximum, wenn die Weglängen um ein Vielfaches der Wellenlänge differieren ($d = n\,\lambda$), ein Minimum, wenn sie um ein **ungerades** Vielfache der **halben** Wellenlänge differieren

$$\left(d = \left(n + \frac{1}{2}\right)\lambda = \frac{2n+1}{2}\lambda\right).$$

Zwischen diesen Maximis und Minimis findet ein allmählicher continuierlicher Uebergang statt.

§ 58. Für die Abbe'sche Theorie der secundären Abbildung ist nun aber namentlich von Wichtigkeit, dass nur diejenigen Strahlen, die von dem gleichen Punkte eines selbstleuchtenden Körpers ausgehen, mit einander interferieren, dass dagegen die von verschiedenen Punkten des selbstleuchtenden Körpers ausgehenden Wellen incohärente Bewegungszustände enthalten und nicht interferenzfähige Elementarwellen aussenden. Die verschiedenen Punkte eines selbstleuchtenden Körpers stellen eben von einander unabhängige Erschütterungscentra dar.

b) Die Abbildung von selbstleuchtenden Körpern.

§ 59. Findet durch eine Linse die Abbildung eines selbstleuchtenden Punktes P, Fig. 32 statt, dessen Bildpunkt nach den Gesetzen der geometrischen Optik in P′ gelegen ist, so können wir uns die in in diesem Punkte thatsächlich stattfindenden Aetherschwingungen offenbar als die Resultierende aus den einzelnen von P ausgehenden Elementarwellen dargestellt denken. Nun wurde aber, wie hier nicht weiter ausgeführt werden kann, der Nachweis geliefert, dass zwischen zwei im Object- und Bildraum einander zugeordneten Punkten eine derartige Beziehung besteht, dass die vom Punkte P mit gleicher Phase ausgehenden Strahlen in P′ sämmtlich mit der gleichen Phase ankommen. Es könnte dieser Satz auf den ersten Blick etwas paradox erscheinen, denn, wenn wir um P und P′ Kreise ziehen, die die beiden Linsenflächen tangieren, so ist ja in der That leicht ersichtlich, dass die Wegstrecken zwischen diesen beiden Kreisen ungleich lang sind, dass also auch z. B. die auf den Centralstrahl P P′ gelegene Strecke A B bedeutend kürzer ist, als die entsprechende, auf dem Randstrahl gelegene Strecke C D E L. Es ist hierbei jedoch zu bedenken, dass die Wellenlänge von der Dichtigkeit des Mediums, in dem die Wellenbewegung stattfindet, abhängig ist, und dass speciell für das optisch dichtere Glas auf die gleiche Wegstrecke bedeutend mehr Wellenlängen kommen als für die weniger dichte Luft. Nun muss aber der Centralstrahl in dem optisch dichteren Glase die relativ lange Strecke F G zurücklegen, während der Randstrahl nur die relativ kurze Strecke D E im Glase zurückzulegen hat. Hiernach dürfte es also wohl ganz plausibel erscheinen, dass auf die sämmtlichen Weg-

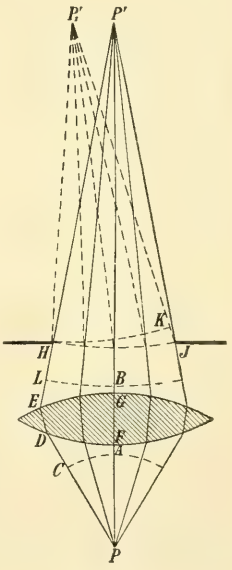


Fig. 32.

strecken, welche sich zwischen den beiden mit den Radien P A und P' B beschriebenen Kreisen befinden, die gleiche Anzahl von Wellenlängen kommt; der exacte Beweis für diesen Satz lässt sich allerdings nur durch eingehende mathematische Deductionen erbringen.

Eine Folge obigen Satzes ist nun aber, dass in P' alle Strahlen mit der gleichen Schwingungsphase ankommen, und dass sie sich also auch sämmtlich verstärken.

§ 60. Die Lichtwirkung, welche die von P (Fig. 32) ausgehende Lichtwelle auf einen P' sehr nahe benachbarten Punkt (P'_1) ausübt, erhalten wir nun aber ferner, wenn wir die Resultierende der einzelnen zwischen $P'_1 H$ und $P'_1 J$ gelegenen Strahlen bestimmen. Da nun nach Obigem die Randstrahlen in den von P' gleich weit entfernten Punkten H und J mit der gleichen Schwingungsphase ankommen, so wird der Phasenunterschied, mit dem sie in dem Punkte P'_1 ankommen, offenbar bestimmt durch den Unterschied von $P'_1 J$ und $P'_1 H$, also durch die Strecke H J. Denken wir uns nun ferner die Punkte P' und P'_1 sehr weit entfernt von der Linse, so gehen die Kreisbögen H J und H K offenbar in gerade Linien über, und es ist dann das Dreieck H J K für die in dem Punkte P'_1 stattfindende Lichtwirkung maassgebend.

Nehmen wir nun zunächst an, dass die Strecke $JK = {}^1/_2 \lambda$, so würden sich nach § 56 die beiden Randstrahlen $H P'_1$ und $J P'_1$ offenbar durch Interferenz aufheben müssen, die zwischenliegenden Strahlen würden sich aber, da ihre Phasendifferenz natürlich geringer ist als $\frac{\lambda}{2}$, zu einem Gesammteffect summieren, der jedoch nach § 56 offenbar bedeutend geringer sein muss als bei der im Punkte P' bei vollkommener Gleichheit der Weglängen eintretenden einfachen Summation. Bezeichnen wir nun die in dem Bildpunkte P' vorhandene Amplitude mit A und die dem Quadrate derselben proportionale Intensität des Lichtes mit J, so ist, wie nur mit Hilfe complicierter Rechnungen nachgewiesen werden kann, die bei der Phasendifferenz von $\frac{\lambda}{2}$ eintretende Amplitude (a_1) und Intensität (i_1) bestimmt durch die Gleichungen:

$$a_1 = 0{\cdot}63\, A$$
$$i_1 = 0{\cdot}4\, J$$

Wächst nun ferner die Strecke J K, Fig. 32, auf 1 λ, so wird das von den Punkten J und H begrenzte Strahlenbündel offenbar von dem durch die Mitte von J H gebenden Strahl derartig halbiert, dass die Weglänge der von dem gleichen (z. B. linken) Rande dieser beiden Hälften gleichweit entfernten Strahlen eine halbe Wellenlänge beträgt, so dass sich also diese Strahlen nach § 56 sämmtlich durch Interferenz paarweise aufheben.

Ist nun aber die Strecke $JK = \frac{3}{2}\lambda$, so können wir uns das Strahlenbündel derartig in 3 Theile zerlegt denken, dass die Strahlen der ersten beiden Drittel paarweise um $\frac{\lambda}{2}$ differieren und sich also gegenseitig durch Interferenz aufheben. Die Wirkung des übrig bleibenden Drittels, dessen Randstrahlen einen Phasenunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ besitzen, würden sich dagegen in der gleichen Weise wie in dem vorletzten Falle summieren; wir erhalten also in diesem Falle für die Amplitude (a_2) und die Intensität (i_2) die Gleichungen:

$$a_2 = \frac{1}{3} \cdot 0{\cdot}63\ A = 0{\cdot}21\ A$$

$$i_2 = \frac{1}{9} \cdot 0{\cdot}4 \cdot J = 0{\cdot}044\ J.$$

Die Lichtintensität des Strahlenbündels, dessen Randstrahlen die Phasendifferenz $\frac{3\lambda}{2}$ besitzen, des „zweiten Maximums", beträgt also bereits weniger als $\frac{1}{20}$ von derjenigen, die im eigentlichen Bildpunkte (P') vorhanden ist.

Beträgt die Phasendifferenz der Randstrahlen 2λ, so können wir uns das betreffende Strahlenbündel offenbar in 4 Bündel zerlegt denken, von denen sich je 2 (wie in dem Falle, in dem $JK = \lambda$) paarweise aufheben. Das Gleiche gilt aber auch für jedes Strahlenbündel, für welches die Phasendifferenz der Randstrahlen ein beliebiges Vielfaches von λ beträgt, und es wird also auch in allen diesen Fällen die Lichtintensität gleich Null sein.

Nehmen wir nun aber an, dass die Phasendifferenz der Randstrahlen $= \frac{5}{2}\lambda$, so würden sich offenbar $^4/_5$ von dem betreffenden Strahlenkegel durch paarweise Interferenz vollständig aufheben, während das übrig bleibende Fünftel sich zu einem Lichteffect summieren würde. Wir erhalten also in diesem Falle für die Amplitude (a_3) und Intensität (i_3) die Gleichungen:

$$a_3 = \cdot\frac{1}{5} \cdot 0{\cdot}63\ A = 0{\cdot}126\ A$$

$$i_3 = \frac{1}{25} \cdot 0{\cdot}4\ J = 0{\cdot}016\ J.$$

Die Lichtintensität beträgt also in diesem zweiten Maximum bereits weniger als $\frac{1}{50}$ von der des Bildpunktes, und es lässt sich in dieser Weise

leicht zeigen, dass die Abnahme der Intensität bei den weiteren Maximis, die für $JK = \frac{7\lambda}{2}, \frac{9\lambda}{2}, \frac{11\lambda}{2}$ . . . eintreten, rapide abnimmt.

§ 61. Als Gesammtergebnis folgt also aus dem Obigen, dass durch den von dem Punkte P (Fig. 32) ausstrahlenden Lichtkegel in dem Bildpunkte P′ die grösste Helligkeit erzeugt wird, dass dieser Punkt aber umgeben ist von einer Anzahl von hellen Kreisen, deren Lichtintensität nach aussen zu sehr schnell abnimmt (cf. Fig. 33).

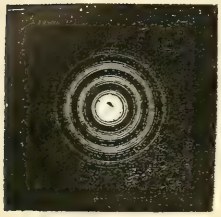


Fig. 33.

Für die Ausdehnung des in dieser Weise zustande kommenden „Beugungsbildes" ist nun aber nach Obigem in erster Linie die Grösse JK (Fig. 32) maassgebend, und diese wird offenbar bei um so geringerer Entfernung des Punktes P'_1 von P′ die Werte λ, 2λ, 3λ... erreichen, je grösser der Oeffnungswinkel der betreffenden Linse, da ja von diesem die Grösse HJ direct abhängt. Wenn man nun aber bedenkt, dass die Wellenlängen (cf. § 55) Bruchtheile von $^1/_{1000}$ *mm* betragen, so wird man begreifen, dass schon bei einer Blendungsöffnung von wenigen Millimetern das Beugungsbild so geringe Dimensionen erreicht, dass es für unser Auge als leuchtender Punkt erscheint.

§ 62. In der gleichen Weise lässt sich nun natürlich die Abbildung für einen jeden in der Umgebung von P befindlichen Punkt bestimmen. Man erhält so im geometrischen Bildpunkte ein im allgemeinen von äusserst kleinen Beugungskreisen umgebenes Bild dieses Punktes. Zu beachten ist hierbei noch, dass die von verschiedenen Punkten des selbstleuchtend gedachten Objectes ausgehenden Lichtwellen als incohärente Wellen (cf. § 58) nicht mit einander interferieren und sich also auch in ihrer Abbildung nicht beeinträchtigen können.

Das Resultat dieses Abschnittes lässt sich also dahin zusammenfassen, dass selbstleuchtende Körper in der That ganz nach den Gesetzen der geometrischen Optik Punkt für Punkt abgebildet werden.

c) Die secundäre Abbildung.

§ 63. Als secundäre Abbildung wurde von Abbe die Abbildung von nicht selbstleuchtenden Körpern bezeichnet; dieselben bedürfen natürlich, um ein Bild zu erzeugen, irgend einer Lichtquelle und können auf die von dieser ausgehenden Lichtstrahlen durch Reflexion, Absorption oder Brechung einwirken. Dass nun in diesem Falle die Bedingungen für das Zustandekommen der Abbildung ganz andere sind, wie bei der Abbildung selbstleuchtender Körper, dürfte an der Hand der Fig. 34

leicht verständlich sein. In derselben stellt $P_1 P_2$ eine als Fläche gedachte Lichtquelle, $O O_1$ irgend ein selbst nicht leuchtendes Object dar. In dem nach den Gesetzen der geometrischen Optik construierten Bildpunkte (O'_1) von O_1 werden dann offenbar Strahlen vereinigt, die von verschiedenen Punkten der leuchtenden Fläche (P_1, P, P_2) herrühren; dieselben sind also voneinander unabhängig und können nicht in der gleichen Weise wie im vorigen Falle ein Beugungsbild von O_1 erzeugen. Dahingegen sind aber die von verschiedenen Punkten des mikroskopischen Objectes ausgehenden Strahlen (z. B. die Strahlen $P'_1 O'$ und $P'_1 O'_1$) unter sich interferenzfähig. Es leuchtet somit ein, dass in diesem Falle die Bedingungen, unter denen das Bild zustande kommt, ganz andere sind als bei selbstleuchtenden Körpern. Die für diese abgeleiteten Abbildungsgesetze können somit auch nicht ohne weiteres auf die secundäre Abbildung übertragen werden, und es ist erst noch der Beweis zu erbringen, dass bei dieser überhaupt von einer punktweisen Abbildung die Rede sein kann.

§ 64. Nach der Abbe'schen Theorie der secundären Abbildung findet nun die Abbildung in diesem Falle in der Weise statt, dass das abzubildende Object ($O O_1$ Fig. 34) auf die von der Lichtquelle ($P_1 P_2$) ausgehenden Lichtstrahlen wie ein Beugungsgitter wirkt und in der der Lichtquelle zugeordneten Ebene ($P'_1 P'_2$) ein Beugungsbild erzeugt. Durch Interferenz der von diesem Beugungsbilde ausgehenden Strahlen entsteht dann erst das Bild ($O' O'_1$), das mit dem Objecte $O O_1$ um so mehr in allen feineren Details übereinstimmt, je vollständiger das von diesem erzeugte Beugungsbild von dem betreffenden Objective aufgenommen wird. Nach dieser Theorie ist es also leicht verständlich dass das Definitionsvermögen des Mikroskops in erster Linie von dem Oeffnungswinkel des Objectivs abhängig ist. Denn je grösser dieser ist, um so mehr wird von dem durch eine beliebige Structur erzeugten Beugungsbilde in das Mikroskop gelangen können.

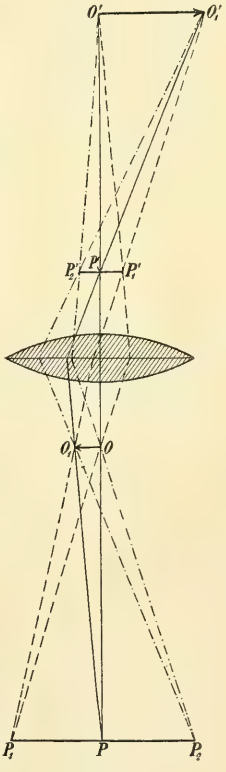


Fig. 34.

Es würde nun zu weit führen, wollte ich an dieser Stelle eine vollständige Ableitung und Begründung der Abbe'sche Theorie geben; immerhin scheint mir aber ein etwas näheres Eingehen auf dieselbe um so mehr geboten, als diese Theorie nicht nur für die Fortschritte, die die Construction des optischen Theiles des Mikroskops in dem letzten Jahrzehnt gemacht hat, von der grössten Be-

deutung gewesen ist, sondern auch bereits für manche Fragen der praktischen Mikroskopie eine gewisse Bedeutung erlangt hat. Zunächst wollen wir nun die Frage ins Auge fassen, in welcher Weise durch eine feine Structur überhaupt ein Beugungsbild erzeugt werden kann. In zweiter Linie haben wir dann zu erörtern, wie aus diesem Beugungsbilde in der dem abzubildenden Objecte zugeordneten Ebene das Bild desselben entsteht.

1. Die Entstehung des Beugungsbildes.

§ 65. Der grösseren Einfachheit halber wollen wir von dem Falle ausgehen, dass das in der Ebene O O (Fig. 35) befindliche Object von einem sehr weit entfernten Punkte aus beleuchtet werde, so dass wir die auf dasselbe fallenden Strahlen als parallel annehmen können. Dieselben haben dann in der Ebene OO sämmtlich die gleiche Oscillationsphase. Nach dem Satze von der Gleichheit der Lichtwege (cf. § 59) werden sie dann ferner in dem Brennpunkte (F) sämmtlich mit der gleichen Phase ankommen, und es wird hier also eine einfache Summation der einzelnen Lichtschwingungen stattfinden. Dahingegen erhalten wir nun die optische Wirkung des unter dem Winkel D B G gegen die Achse abgebeugten Strahlenbüschels, indem wir berechnen, mit welcher Phasendifferenz die einzelnen Strahlen desselben in dem in der Brennebene gelegenen Punkte H ankommen. Es lässt sich nun auch in diesem Falle durch hier nicht näher zu erörternde mathematische Deductionen zeigen, dass alle von der auf B G (Fig. 35) senkrecht stehenden Geraden A J mit gleicher Oscillationsphase ausgehenden Strahlen im Punkte H mit der gleichen Oscillationsphase ankommen. Da nun aber in unserem Falle in den zwischen A B gelegenen Punkten die gleiche Oscillationsphase besteht, so werden offenbar die Randstrahlen des von A B ausgehenden abgebeugten Strahlenbündels eine der Weglänge B J entsprechende Phasendifferenz besitzen müssen. Die Resultante dieser Bewegungen ist also zunächst von dem Neigungswinkel (D B G) des abgebeugten Strahlenbüschels, mit dem ja die Grösse B J zunimmt, abhängig. Andererseits wird dieselbe aber auch von der Beschaffenheit der in der Ebene A B befindlichen Structur beeinflusst, und wir wollen wenigstens den einfachsten Fall, in dem sich in der Ebene A B ein System paralleler, gleichbreiter und abwechselnd heller und dunkeler Streifen befindet, etwas näher ins Auge fassen.

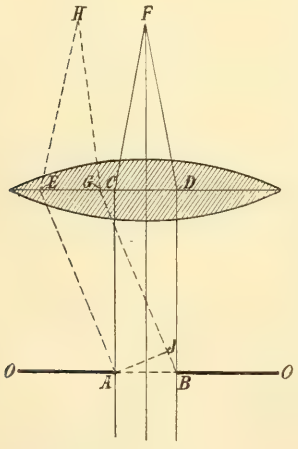


Fig. 35.

§ 66. Wir gehen hierbei zweckmässig von dem einfachsten Falle aus, in dem sich in A B ein einziger durchsichtiger und ein undurchsichtiger Streifen befindet, wie dies in Fig. 36, I. im Querschnitt dargestellt

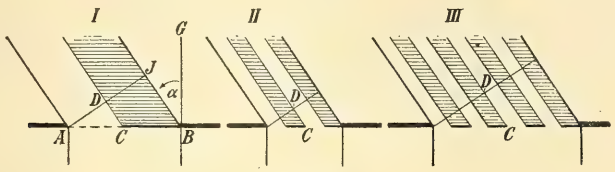


Fig. 36.

ist. In diesem Falle erhalten wir offenbar ebenso wie in dem § 60 erörterten Falle vollkommene Aufhebung der einzelnen Strahlenwirkungen, wenn $C\,D = \lambda$ oder einem Vielfachen von λ, dagegen tritt ein Maximum der Intensität ein, wenn $C\,D = \frac{\lambda}{2}$ oder einem ungraden Vielfachen von $\frac{\lambda}{2}$.

Bezeichnen wir nun den Neigungswinkel des Strahlenbüschels, den Winkel G B J, mit α, so ist offenbar, da der Winkel $B\,A\,J = G\,B\,J = \alpha$, $\sin\alpha = \frac{C\,D}{A\,C}$ oder wenn wir die Breite der hellen und dunklen Streifen zusammen (also A B) mit b bezeichnen, da nach der Annahme $A\,C = C\,B$ und folglich $A\,C = \frac{1}{2}\,b$:

$$\sin\alpha = \frac{C\,D}{\frac{1}{2}\,b} = \frac{2\,C\,D}{b}.$$

Setzen wir nun für C D die nach dem Obigen den verschiedenen Maximis und Minimis entsprechenden Werte in die letztgefundene Gleichung ein, so kommen wie zu folgendem Resultate:

Es entsteht in H (Fig. 35) ein Maximum, wenn

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{b}, \frac{3\lambda}{b}, \frac{5\lambda}{b} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I)}$$

dagegen ein Minimum, wenn

$$\sin\alpha = \frac{2\lambda}{b}, \frac{4\lambda}{b}, \frac{6\lambda}{b} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{II)}$$

Gehen wir nun zu dem Falle über, in dem sich in der Ebene A B je 2 mit einander abwechselnde helle und dunkle Streifen befinden (Fig. 36, II.), so haben wir hier zunächst zu berechnen, wann sich die beiden verschiedenen Strahlenbüschel gegenseitig summieren oder aufheben. Ersteres ist nun offenbar der Fall, wenn die auf der gleichen Seite der beiden Strahlenbüschel gelegenen Randstrahlen um eine ganze Wellenlänge oder ein Vielfaches einer solchen differieren, wenn also

$$C\,D = \lambda, 2\lambda, 3\lambda \ldots$$

Dagegen werden sie sich aufheben, wenn

$$CD = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \ldots$$

Bezeichnen wir wieder die Breite eines hellen und dunklen Streifens mit b, so geht diese Beziehung über in:

$$\text{Maximum für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{b}, \frac{2\lambda}{b}, \frac{3\lambda}{b} \ldots$$

$$\text{Minimum für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{2b}, \frac{3\lambda}{2b}, \frac{5\lambda}{2b} \ldots$$

Nun werden aber natürlich auch die Strahlen ein und desselben Bündels mit einander interferieren müssen, und es wird die Resultante aus den beiden Strahlenbündeln auch dann ein Minimum geben müssen, wenn die verschiedenen Strahlen der einzelnen Büschel sich bereits unter sich durch Interferenz aufheben; dies ist nun aber nach Gleichung II der Fall, sobald

$$\sin\alpha = \frac{2\lambda}{b}, \frac{4\lambda}{b}, \frac{6\lambda}{b} \ldots$$

Wenn wir diese Fälle von den obigen Maximis noch in Abzug bringen, so erhalten wir das Resultat:

$$\text{Maxima für: } \sin\alpha = \frac{\lambda}{b}, \quad \frac{3\lambda}{b}, \quad \frac{5\lambda}{b} \qquad \text{III)}$$

$$\text{Minima für: } \sin\alpha = \frac{\lambda}{2b}, \quad \frac{3\lambda}{2b}, \frac{4\lambda}{2b}, \frac{5\lambda}{2b}, \quad \frac{7\lambda}{2b}, \frac{8\lambda}{2b}, \frac{9\lambda}{2b} \qquad \text{IV)}$$

Handelt es sich nun aber um 4 helle und dunkle Streifen (Fig. 36, III.), so wird zunächt durch Interferenz der beiden Hälften gegeneinander ein Maximum eintreten, wenn $CD = \lambda, 2\lambda, 3\lambda \ldots$, ein Minimum für $CD = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2} \ldots$ Nun ist aber $CD = 2b \sin\alpha$; folglich erhalten wir

$$\text{Maxima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{2b}, \frac{2\lambda}{2b}, \frac{3\lambda}{2b}$$

$$\text{Minima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{4b}, \frac{3\lambda}{4b}, \frac{5\lambda}{4b}$$

Dazu kommen nun aber als Minima noch diejenigen Fälle, in denen sich die einzelnen Strahlen der beiden Hälften unter sich aufheben, d. h. also die im vorigen Falle, für 2 Streifen berechneten Minima (cf. Gleichung IV).

Wir erhalten so:

$$\text{Maxima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{b} \quad \frac{2\lambda}{b} \ldots$$

$$\text{Minima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{4b}, \frac{2\lambda}{4b}, \frac{3\lambda}{4b}, \quad \frac{5\lambda}{4b}, \frac{6\lambda}{4b}, \frac{7\lambda}{4b}, \quad \frac{9\lambda}{4b} \ldots$$

Handelt es sich nun aber um 8 Streifen (Fig. 37), so erhalten wir durch Interferenz der beiden Hälften

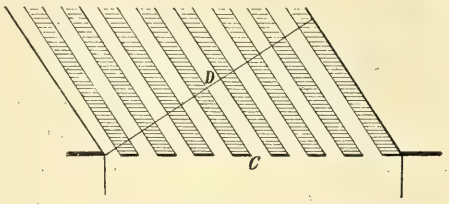


Fig. 37.

$$\text{Maxima für } CD = \lambda,\ 2\lambda,\ 3\lambda, \ldots$$

$$\text{Minima für } CD = \frac{\lambda}{2},\ \frac{3\lambda}{2},\ \frac{5\lambda}{2} \ldots$$

oder da die halbe Breite des Strahlenbündels $= 4b$ und somit $\sin\alpha = \frac{CD}{4b}$,

$$\text{Maxima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{4b},\ \frac{2\lambda}{4b},\ \frac{3\lambda}{4b} \ldots$$

$$\text{Minima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{8b},\ \frac{3\lambda}{8b},\ \frac{5\lambda}{8b} \ldots$$

Ziehen wir nun von diesen Maximis noch die Minima ab, die nach der vorausgehenden Rechnung durch Interferenz jeder einzelnen aus 4 Streifen bestehenden Hälfte enstehen, so erhalten wir:

$$\text{Maxima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{b}\quad\frac{2\lambda}{b} \ldots$$

$$\text{Minima für } \sin\alpha = \frac{\lambda}{8b},\ \frac{2\lambda}{8b},\ \frac{3\lambda}{8b},\ \frac{4\lambda}{8b},\ \frac{5\lambda}{8b},\ \frac{6\lambda}{8b},\ \frac{7\lambda}{8b}\quad\frac{9\lambda}{8b} \ldots\quad\frac{15\lambda}{8b} \ldots$$

§ 67. Diese Entwickelung liesse sich nun in der gleichen Weise beliebig weit ausdehnen, und man würde so zu dem allgemeinen Resultate gelangen, dass, wenn die Zahl der Streifen die Zahl 4 übersteigt, die Lage der Maxima nur noch von ihrer Breite abhängig ist, nicht aber von ihrer Zahl. Dahingegen nimmt mit der Zahl der Streifen die Zahl der Maxima immer mehr zu, und es werden somit die Maxima mit Zunahme der Streifenzahl von immer ausgedehnteren dunklen Zwischenräumen getrennt sein. Die Lage der Maxima ist aber allgemein bestimmt durch die Grössen:

$$\sin\alpha = \frac{\lambda}{b},\ \frac{2\lambda}{b},\ \frac{3\lambda}{b} \ldots \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I)}$$

§ 68. Da nun aber die für die einzelnen Maxima gefundenen Neigungswinkel nicht nur von der Breite der Streifen (der Grösse b), sondern auch von der Wellenlänge (λ) abhängig sind, so werden bei Anwendung von gewöhnlichem weissen Licht die Maxima für die verschiedenen Farben nicht zusammenfallen, dieselben werden vielmehr um so mehr

auseinander rücken, je grösser die Wellenlänge der betreffenden Strahlen ist. Es entstehen in dieser Weise die sogenannten Gitterspectra, bei denen nach Obigem die Strahlen mit grosser Wellenlänge (die rothen) am meisten von dem directen weissen Bilde entfernt sind.

§ 69. Um nun derartige Beugungsbilder direct im Mikroskop zu beobachten, benützt man zweckmässig die sogenannte Abbe'sche Diffractionsplatte, auf der sich 3 verschiedene Streifensysteme befinden, die in eine feine Silberschicht eingeritzt sind. Wir wollen uns zunächst ausschliesslich an das mittlere dieser Streifensysteme halten, das lediglich von parallelen Linien gebildet wird, die in der einen Hälfte des Kreises doppelt so weit von einander entfernt sind, wie in der anderen (cf. Fig. 38, A, die nur insofern vereinfacht ist, als die Zahl der Linien auf $^1/_4$ vermindert ist).

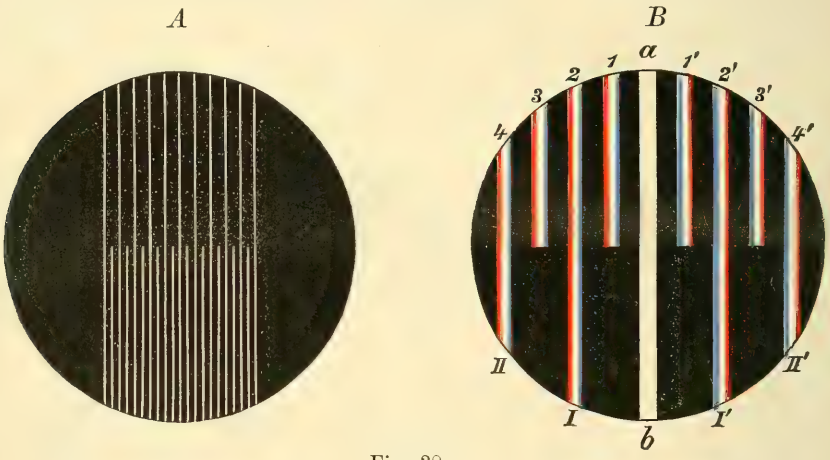


Fig. 38.

Um nun das von diesem Streifensystem gelieferte Beugungsbild zu beobachten, stellt man zunächst das Mikroskop mit schwacher Vergrösserung (etwa Zeiss aa oder A) und unter starker Beleuchtung in der gewöhnlichen Weise auf das Streifensystem ein, bringt dann auf den Blendungsträger des Abbe'schen Beleuchtungsapparates oder in den gewöhnlichen Blendungscylinder eine etwa aus schwarzem Carton angefertigte Blendung, die einen weniger als 0,5 mm breiten Spalt besitzt und mit diesem parallel dem Streifensystem orientiert wird, entfernt dann das Ocular und sieht von oben in den Tubus hinein. Man beobachtet dann das weisse Bild des Spaltes, umgeben von einer grossen Anzahl von Beugungsspectren (cf. Fig. 38, B). Bewegt man das Auge über dem Mikroskope in horizontaler Richtung parallel der Streifenrichtung, so sieht man auch, dass sich die Zahl der Spectren plötzlich auf das Doppelte vermehrt.

Es rührt dies daher, dass das weitere Streifensystem, wie ja nach der Formel I in § 67 ohne weiteres klar ist, einander näher liegende Beugungsspectra liefert.*)

§ 70. Benützt man ferner zur Erzeugung des Beugungsbildes ein stärkeres System, resp. ein solches mit grösserem Oeffnungswinkel, so wird zwar eine noch grössere Anzahl von Beugungsspectren sichtbar; doch wird das Beugungsbild auch immer kleiner, so dass es bei starken Objectiven in der obigen Weise nicht mehr beobachtet werden kann. Verfügt man jedoch über ein Mikroskop mit ausziehbarem Tubus, so kann man das so erhaltene Beugungsbild dadurch vergrössern, dass man an das untere Ende des inneren (ausziehbaren) Tubus ein schwaches Objectiv anschraubt, in der gewöhnlichen Weise ein Ocular aufsetzt und mit dem so gebildeten Mikroskop das Beugungsbild betrachtet.

§ 71. Ausserdem sind zur mikroskopischen Beobachtung der Beugungsbilder namentlich die mit regelmässigen Structuren versehenen Schalen vieler Diatomeen sehr geeignet. So beobachtet man z. B. bei Pleurosigma angulatum unter Anwendung eines starken Systemes — am besten Oelimmersion —, dass das nach Entfernung des Oculars sichtbare Bild der Blendung von 6 um dasselbe gleichmässig vertheilten Beugungsspecten umgeben ist, die um so reinere Spectralfarben zeigen, je mehr man die Oeffnung der Blendung verkleinert.

2. Die Entstehung des secundären Bildes.

§ 72. Wie bereits in § 63 kurz hervorgehoben wurde, entsteht das Bild des Objectes ($O\,O_1$, Fig. 34) durch Interferenz der einzelnen Elementarwellen, die von den im vorigen Abschnitt besprochenen Beugungsspectren, die in der Ebene $P'_2\,P'_1$ liegen, ausgehen. Es lässt sich denn auch in der That für die einfacheren Fälle durch exacte Berechnungen nachweisen, dass in dieser Weise ein vollkommen ähnliches Bild einer Structur entsteht, sobald von dem betreffenden Objective das gesammte Beugungsbild aufgenommen wird, dass dagegen von einer Structur überhaupt nichts im mikroskopischen Bilde sichtbar ist, wenn nicht ausser dem directen (weissen) Bilde der Lichtquelle mindestens **ein** Beugungsspectrum in das betreffende Objectiv gelangt.

Leider sind nun aber diese Berechnungen zu compliciert, um sich hier in Kürze wiedergeben zu lassen, wir wollen uns deshalb auch auf

*) Dass man in diesem Falle das ganze Beugungsbild, das ja ein reelles Bild der Lichtquelle darstellt, nicht gleichzeitig übersehen kann, rührt von der grossen Entfernung und dem geringen Oeffnungswinkel des Auges her (cf. § 42). Das Bild auf einem durchsichtigen Schirme aufzufangen, gelingt bei der geringen Lichtstärke nicht gut.

die Anführung obiger Sätze beschränken und nur noch einige Versuche anführen, durch welche die Abhängigkeit des mikroskopischen Bildes vom Beugungsbild der Lichtquelle direct ad oculos demonstriert werden kann.

§ 73. Wir benutzen zu diesem Zwecke zunächst wieder das mittlere Feld der Abbe'schen Diffractionsplatte. Wir sahen bereits § 69, dass in demselben zwei Streifensysteme angebracht sind, von denen bei dem einen der Abstand der Streifen doppelt so gross ist wie bei dem anderen, und dass folglich auch in der einen Hälfte des Beugungsbildes die Beugungsspectren doppelt so weit voneinander entfernt sind wie in der anderen (cf. Fig. 38 A und B).

Bringt man nun zunächst in der Ebene des Beugungsbildes eine Blendung,*) welche nur das directe Bild der Lichtquelle durchlässt, wie dies in Fig. 39, A angedeutet ist, und beobachtet sodann nach

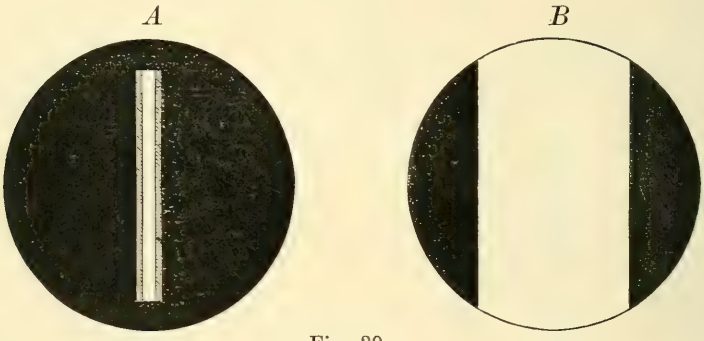


Fig. 39.

Einsetzen des Oculars das mikroskopische Bild, so sieht man in der That an Stelle der parallelen Linien nur annähernd gleichmässig helle Flächen (Fig. 39, B).

Wählt man aber die Blendung so gross, dass ausser dem directen Bilde der Lichtquelle noch die beiden ersten, dem weiteren Streifensystem entsprechenden Beugungsspectren durchgelassen werden (Fig. 40, A), so sieht man in dem Bilde in der That die einzelnen Linien des weiteren Streifen-

*) Man benützt bei diesen Versuchen zweckmässig einen der Diffractionsplatte beigegebenen Ring, der zwischen Objectiv und Tubus eingeschaltet wird. Derselbe besitzt einen seitlichen Einschnitt, durch welchen die auf einen entsprechenden Halter gelegten Blendungen bei Anwendung des Objectives a a gerade in die Ebene des Beugungsbildes gebracht werden können; ausserdem gestattet dieser Ring auch eine Drehung der betreffenden Blendungen. Dieselben entsprechen den durch das Objectiv aa bewirkten Dimensionen des Beugungsbildes. In Fig. 39—42 ist die Fläche dieser Blendungen ganz schwarz dargestellt, der zwischen den einzelnen Spectren gelegene dunkle Raum dagegen nur schraffiert.

systemes, allerdings sind dieselben verhältnismässig viel dicker als in Wirklichkeit (Fig. 40, B); an Stelle des engeren Streifensystems sieht man aber noch eine gleichmässig helle Fläche.

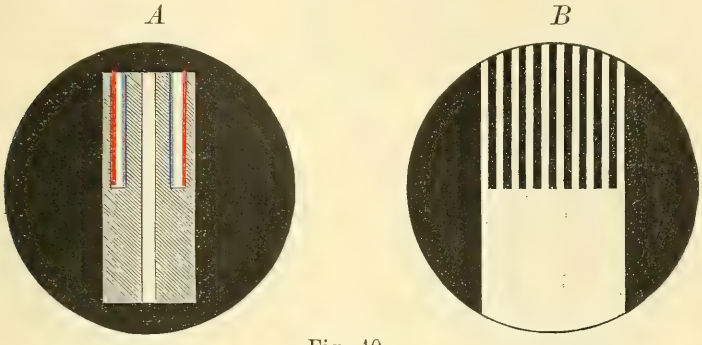


Fig. 40.

In dieser tritt erst dann ein dem wirklichen Objecte entsprechendes Liniensystem auf, wenn mindestens ein von dieser erzeugtes Beugungsspectrum (also I und I' Fig. 38 B) in das Mikroskop gelangt, wie dies in Fig. 41, A und B dargestellt ist.

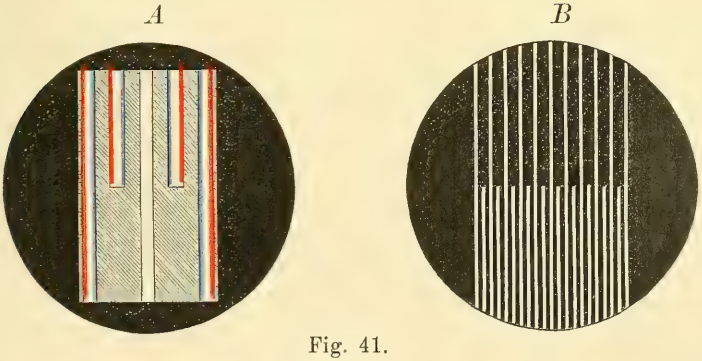


Fig. 41.

Sehr instructiv ist nun aber schliesslich folgender Versuch, bei dem eine mit drei spaltförmigen Einschnitten versehene Blendung (cf. Fig. 42, A) verwandt wird. Diese Spalten sind so orientiert, dass der mittlere derselben das directe Bild (a b Fig. 38 B) durchlässt, während die anderen beiden gerade den ersten Spectren der feineren Structur (I und I') und den zweiten Spectren der gröberen (2 und 2' Fig. 38) entsprechen; die ersten von der gröberen Structur erzeugten Spectren (1 und 1') werden dagegen durch die betreffende Blendung aufgefangen. In diesem Falle beobachten wir nun auch in der That ganz im Ein-

klang mit der Theorie, dass in beiden Hälften des Bildes gleich viel Linien vorhanden sind; durch Drehen der Blendung kann man sich auch leicht davon überzeugen, dass die Zahl derselben dem feineren Streifensystem entspricht, dass somit in der einen Hälfte des Bildes eine Ver-

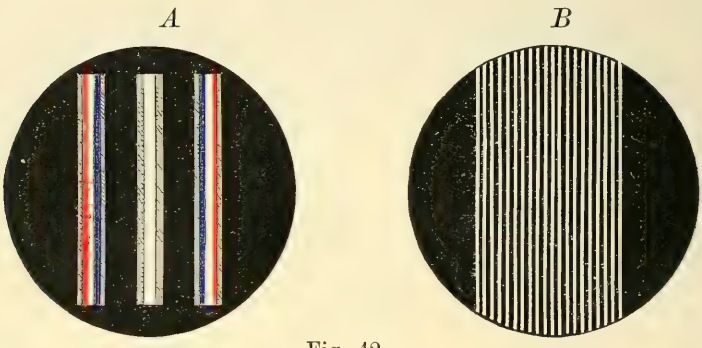


Fig. 42.

doppelung der Streifen stattgefunden hat. Es war dies ja in der That nach der Theorie zu erwarten, da in diesem Falle das Beugungsbild der weiteren Structur künstlich dem der engeren Structur gleichgemacht wurde. Besonders hervorzuheben ist jedoch noch, dass das in dieser Weise erzeugte Bild mit einem normalen mikroskopischen Bilde an Schärfe vollkommen übereinstimmt, und dass der unbefangene Beobachter dasselbe sicherlich für das getreue Abbild einer wirklich vorhandenen Structur halten würde.

§ 74. In ähnlicher Weise lässt sich nun auch bei den übrigen beiden Streifensystemen der Abbe'schen Diffractionsplatte durch Einschaltung geeigneter Blendungen einerseits ein Verschwinden der vorhandenen Streifen, andererseits das Auftreten neuer Streifensysteme bewirken, und es sprechen auch in der That alle an regelmässigen Structuren gemachten Beobachtungen für die Richtigkeit der Abbe'schen Theorie der secundären Abbildung.

§ 75. Die Abbe'sche Theorie gilt nun aber in gleicher Weise auch für jede beliebige unregelmässige Structur, also auch für jedes Object der mikroskopischen Beobachtung, mag dasselbe nun lediglich durch Absorption oder durch Brechung auf den Strahlenkegel der Lichtquelle einwirken. Allerdings ist es für einigermaassen unregelmässig gestaltete Körper meist äusserst schwierig, die Anordnung und Ausdehnung der einzelnen Beugungsbilder auch nur annäherungsweise zu bestimmen. Immerhin gilt auch hier die allgemeine Regel, dass die Beugungsbüschel mit den directen Büscheln um so grössere Winkel bilden, je

feiner die betreffenden Structuren sind. Da ferner auch für unregelmässige Structuren der Satz gilt, dass sie nur dann im Bilde eines Linsensystemes sichtbar sind, wenn dieses mindestens das erste von den von dieser Structur erzeugten Beugungsspectren aufzunehmen vermag, so gelangen wir somit zu dem für die Praxis hochwichtigen Satze, dass die Sichtbarmachung feiner Structuren, das „Definitionsvermögen" eines Systemes, in erster Linie von dem Oeffnungswinkel desselben abhängig ist.

Dieser Satz schien vor den Untersuchungen von Abbe namentlich für diejenigen Fälle unerklärlich, in denen man, um die besten Bilder zu erhalten, gerade relativ kleine Beleuchtungskegel anwenden musste, so dass also scheinbar nur ein Theil von der Oeffnung des Objectivs in Thätigkeit gesetzt wird. Durch Abbe wissen wir jetzt, dass in diesen direct nicht beleuchteten Raum des Objectivs in erster Linie die von dem mikroskopischen Objecte erzeugten Beugungsbüschel fallen, die bei dem Zustandekommen des mikroskopischen Bildes eine sehr wichtige Rolle spielen.

d) Die Grenzen der optischen Wahrnehmung.

§ 76. Aus der Abbe'schen Theorie der secundären Abbildung lässt sich direct ableiten, welche Grenzen der mikroskopischen Wahrnehmung gesteckt sind, ein Punkt, auf den jetzt noch etwas näher eingegangen werden soll, und zwar wollen wir uns wieder auf den einfachsten Fall, ein System paralleler Streifen, beschränken.

In § 66 und 67 wurde nachgewiesen, dass der Sinus des Winkels ($\alpha = \measuredangle$ D B G Fig. 35), den die die verschiedenen Beugungsspectren liefernden Strahlenbüschel mit dem directen Strahlenbüschel bilden, die Werte:

$$\frac{\lambda}{b}, \frac{2\lambda}{b}, \frac{3\lambda}{b} \ldots$$

besitzt, wobei λ die Wellenlänge und b die Breite der Streifen bedeutet. Offenbar ist es nun hiernach leicht, für eine bestimmte Wellenlänge die den verschiedenen Werten von b entsprechenden Werte von α zu berechnen. Von Naegeli und Schwendener (I, 224) wurde denn auch eine solche Berechnung für die mittlere Wellenlänge von 0·5 μ ausgeführt.

Die von diesen Autoren gefundenen Werte sind in folgender Tabelle, in der die Breite der Streifen (b) in μ ausgedrückt ist, zusammengestellt:

b	α
10	2° 52′, 5° 44′, 8° 38′, 11° 32′, 14° 30′ . . .
5	5° 44′, 11° 32′, 17° 27′, 23° 35′, 30° . . .
3	9° 35′, 19° 28′, 30°, 41° 46′, 56° 26′, 90°
2	14° 30′, 30°, 48° 35′, 90°
1·5	19° 28′, 41° 46′, 90°
1	30°, 90°
0·5	90°

§ 77. Offenbar wird ferner ein Beugungsbüschel, das mit der Achse des Systems den Winkel α bildet, nur dann von diesem aufgenommen werden können, wenn sein Oeffnungswinkel (cf. § 27) zum mindesten 2 α beträgt. So wird also z. B. nach obiger Tabelle von einem Streifensystem von 1 μ Streifenabstand nur dann das erste Beugungsbüschel in ein bestimmtes System gelangen können, wenn dasselbe einen Oeffnungswinkel von mindestens 60° besitzt. Da ferner der sin 90° bekanntlich 1 beträgt, so würde für den in Wirklichkeit natürlich niemals ganz zu erreichenden Oeffnungswinkel von 180° $b = \lambda$, d. h. bei der feinsten mit einem derartigen Systeme sichtbaren Structur würde der Streifenabstand eine Wellenlänge betragen, eine Grenze, die aber aus technischen Gründen in Wirklichkeit nicht einmal ganz zu erreichen ist. Auf alle Fälle ist es aber unter obigen Bedingungen unmöglich, Structuren deren Streifenabstand kleiner als 0·5 μ aufzulösen, d. h. als getrennte Linien wahrzunehmen.

§ 78. Es gibt nun aber drei verschiedene Mittel, die unter diese Grenze des Auflösungsvermögens herabzugehen gestatten. Bei den ersten beiden wird dies durch eine Verminderung der Wellenlänge bewirkt, und zwar kann dies zunächst dadurch geschehen, dass man die Farbe des Lichtes variirt und eine Farbe von möglichst geringer Wellenlänge anwendet. Mit Hilfe der Photographie können ja sogar die ultravioletten Strahlen sichtbar gemacht werden, und es ist somit möglich — wenn auch vorläufig mehr theoretisch — durch die Photographie Details zur Anschauung zu bringen, die von den auf unser Auge wirkenden Strahlen des Spectrums infolge zu grosser Wellenlänge nicht mehr aufgelöst werden können. Nehmen wir aber z. B. einmal an, dass wir an Stelle des Lichtes mit der mittleren Wellenlänge 0·5 μ solches von der Wellen-

länge 0·4 μ, das der Frauenhofer'schen Linie H, entsprechen würde, benutzten, so würde jene übrigens nicht vollständig zu erreichende Grenze von 0·5 auf 0·4 μ herabgedrückt werden.

§ 79. Zweitens lässt sich nun aber die Wellenlänge auch dadurch vermindern, dass man die Lichtstrahlen nicht aus Luft, sondern aus einem stärker brechenden Medium in das Objectiv eintreten lässt, ein Fall, der bei den sogenannten Immersionssystemen schon längst eine praktische Bedeutung gewonnen hat. Bekanntlich ist die Wellenlänge wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes dem Brechungsindex umgekehrt proportional, und wenn wir also z. B. den Brechungsindex der Immersionsflüssigkeit zu 1·5 annehmen, so wird die Wellenlänge um $^2/_3$ kleiner, und es würde dann also auch z. B. das erste Maximum für einen Streifenabstand von 0·5 μ und für Licht, dessen Wellenlänge in Luft 0·5 μ beträgt, nur unter einem Winkel von 42° in das Objectiv eintreten. Nehmen wir nun aber auch an, wir hätten Monobromnaphtalin, das von allen bisher benutzten Immersionsflüssigkeiten den höchsten Brechungsindex (1·66) besitzt, zwischen Object und Objectiv eingeschaltet und hätten ferner mit Licht von der Wellenlänge 0·4 μ beobachtet, so erhielten wir als äusserste Grenze für das Auflösungsvermögen den Streifenabstand von $0{\cdot}4 : 1{\cdot}66 = 0{\cdot}24$ μ.

§ 80. Schliesslich können wir nun aber das Auflösungsvermögen auch dadurch vergrössern, dass wir nicht parallel der Achse, sondern schief einfallendes Licht benutzen. Wenden wir z. B. eine derartige Beleuchtung an, dass das die betreffende Structur direct durchsetzende Strahlenbüschel (A C G D Fig. 43) nach der Brechung die Blendung (bb) des Objectivs gerade tangiert, so wird offenbar noch ein um den Winkel E B J von jenem entferntes Beugungsbüschel (A C K H) ins Mikroskop gelangen können. Der Winkel E B J ist nun aber offenbar doppelt so gross als der bei centraler Beleuchtung in Betracht kommende Winkel E B L. Der Unterschied zwischen centraler und schiefer Beleuchtung besteht eben, wie man auch durch directe Beobachtung leicht feststellen kann, darin, dass bei ersterer das directe (weisse) Bild in der Mitte des Beugungsbildes liegt und nach beiden Seiten hin von Beugungsspectren umgeben ist, während sich bei schiefer Beleuchtung das directe Bild am Rande des Gesichtsfeldes befindet, so dass sich nun die auf einer Seite befindlichen Beugungs-

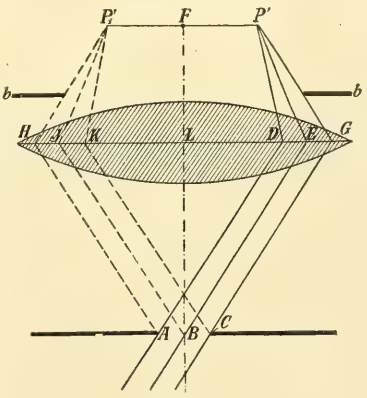


Fig. 43.

spectren über einen doppelt so grossen Raum auszudehnen vermögen. In der That wird also durch schiefe Beleuchtung das Auflösungsvermögen verdoppelt.

§ 81. Man kann sich von dem Obigen leicht überzeugen, wenn man nach Einstellung der Abbe'schen Diffractionsplatte oder einer beliebigen mit feiner Streifung versehenen Diatomeenschale das nach Wegnahme des Oculars sichtbare Beugungsbild bei schiefer und gerader Beleuchtung beobachtet. Sehr instructiv sind z. B. auch die mit relativ starken Längs- und Querstreifen versehenen Schalen verschiedener Pleurosigma spec., z. B. die von P. balticum. Man beobachte dieselben mit einem Objectiv, dessen Apertur so gross ist, dass bereits das erste Beugungsbüschel bei centraler Beleuchtung ausserhalb desselben fällt, aber sofort am Rande der Blendung erscheint, wenn man von centraler zu schiefer Beleuchtung übergeht. Man wird dann nach dem Einsetzen des Oculars bei centraler Beleuchtung überhaupt kein Streifensystem beobachten. Verschiebt man dagegen den Beleuchtungskegel in zu den Längsstreifen senkrechter Richtung, so dass also das erste von diesem gelieferte Beugungsbüschel in das Mikroskop gelangt, so wird sofort dies Streifensystem deutlich sichtbar. Dreht man dann aber das Präparat oder zweckmässiger den Diaphragmenträger des Abbe'schen Beleuchtungsapparates um 90°, so verschwinden die Längsstreifen, während die Querstreifen sichtbar werden. In einer mittleren Stellung, in der von beiden Structuren erzeugte Beugungsbüschel in das betreffende Objectiv gelangen, sind schliesslich beide Streifensysteme gleichzeitig zu beobachten.

§ 82. Zu beachten ist jedoch noch in dieser Beziehung, dass dann, wenn man einen grossen Beleuchtungskegel anwendet, bei gut corrigierten Systemen gewisse Structuren auch bei centraler Beleuchtung sichtbar werden, die bei kleinem Beleuchtungskegel nur bei schiefer Beleuchtung zu beobachten sind. Es hat dies darin seinen Grund, dass bei grossem Beleuchtungskegel für die nahe dem Rande der Objectivblendung verlaufenden Strahlen die zugehörigen abgebeugten Strahlen ebenso, wie bei schiefer Beleuchtung, in dieses gelangen und somit auch in der Bildebene durch Interferenz ein Bild von der betreffenden Structur erzeugen müssen. Bei Anwendung eines die Oeffnung des Objectives vollkommen ausfüllenden Beleuchtungskegels wird man somit auch das gleiche Auflösungsvermögen wie bei schiefer Beleuchtung erhalten können.

§ 83. Hatten wir nun aber für Monobromnaphtalin-Immersion und violettes Licht einen Streifenabstand von 0·24 μ als unterste Grenze der Sichtbarkeit gefunden, so würden wir somit für schiefe Beleuchtung einen Streifenabstand von 0·12 μ erhalten. Es folgt hieraus, dass wir

Structuren, deren Streifenabstand unter 0·12 μ liegt, auch dann nicht sehen würden, wenn alle die obigen Bedingungen erfüllt wären. Uebrigens ist diese Grenze mit unseren jetzigen optischen Mitteln noch nicht einmal vollständig zu erreichen. Namentlich stehen einer ausgedehnten Anwendung von Strahlen mit der Wellenlänge 0·4 μ praktische Schwierigkeiten entgegen. Auf der anderen Seite ist es, wie von Czapski (II) ausgeführt wurde, nicht wahrscheinlich, dass es überhaupt jemals möglich sein wird, unter jene Grenze noch erheblich herabzugehen.

II. Das Mikroskop.

§ 84. Bevor wir mit der speciellen Besprechung der einzelnen Theile des Mikroskops beginnen, wollen wir uns zunächst an der Hand der Fig. 44, die ein relativ einfach gebautes Mikroskop von C. Zeiss darstellt, über Zweck und Benennung der wichtigsten Theile des Mikroskops*) orientieren. Dieselben sind kurz folgende:

1. Das Stativ. Dasselbe dient in erster Linie dazu, die einzelnen Theile des Mikroskops zu verbinden und dem Ganzen eine gewisse Stabilität zu geben. Speciell der letztere Zweck wird durch den stets besonders schweren Stativfuss (F, Fig. 44) erreicht. Ausserdem befindet sich an dem Stativ zunächst der Objecttisch (O), der als Unterlage für die zu beobachtenden Objecte dient. Sollen dieselben in irgend einer Stellung festgehalten werden, so geschieht dies mit Hilfe der beiden federnden Klammern (K). Der zur Aufnahme des eigentlichen optischen Theiles dienende Tubus (T) lässt sich ferner in der federnden Röhre (R) zum Zwecke der gröberen Einstellung in verticaler Richtung verschieben. Die feinere Einstellung wird dagegen durch die in der Säule (S) befindliche Mikrometerschraube mit Hilfe des bei M sichtbaren Knopfes bewirkt.

2. Der bilderzeugende Apparat setzt sich zusammen aus dem an das untere Ende des Tubus anzuschraubenden Objectiv (Ob) und dem Ocular (Oc), das in die obere Oeffnung des Tubus hineingeschoben wird, so dass nur der obere Rand desselben sichtbar ist. Im allgemeinen besteht nun das Ocular, wie aus dem in Fig. 45 etwas schematisch dargestellten Längsschnitt durch den Tubus ersichtlich ist, aus zwei Linsen, von denen die dem Objectiv zugekehrte als Collectivlinse (C),

*) Während man in der Literatur gewöhnlich zwischen dem einfachen und dem zusammengesetzten Mikroskop unterscheidet, pflegt man in der Praxis, der wir uns auch im Folgenden anschliessen wollen, unter Mikroskop ausschliesslich das zusammengesetzte Mikroskop zu verstehen und bezeichnet das sogenannte einfache Mikroskop als Simplex oder, seiner gewöhnlichen Anwendung entsprechend, als Präpariermikroskop. Eine specielle Besprechung dieses Apparates soll denn auch erst in dem speciell der Präparationstechnik gewidmeten Abschnitte gegeben werden.

die dem Auge zugekehrte als Augenlinse (A) bezeichnet wird. Zwischen beiden befindet sich die Gesichtsfeldblendung B.

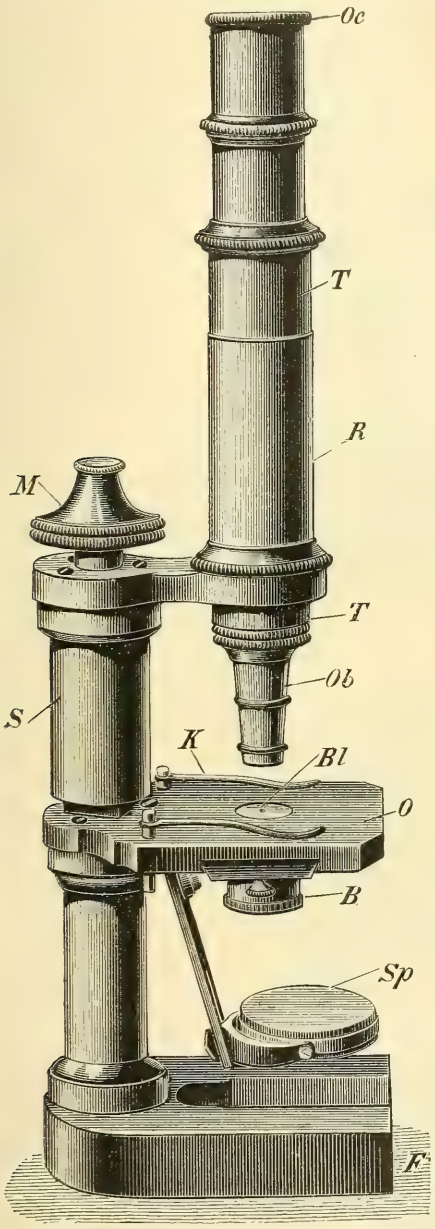


Fig. 44.

Fig. 45.

3. Als Beleuchtungsapparat fungiert in erster Linie der nach verschiedenen Richtungen bewegliche Spiegel (Sp, Fig. 44). Der von diesem dem Object zugeführte Beleuchtungskegel kann schliesslich mit Hilfe des an der Unterseite des Objecttisches befestigten Blendungsträgers (B) zum Theil abgeblendet werden; bei Bl ist das zu diesem Zwecke dienende mit kleiner Oeffnung versehene Diaphragma (Bl) sichtbar.

§ 85. Ein etwas compendiöseres, aus der Fabrik von C. Reichert in Wien stammendes Instrument ist in Fig. 46 dargestellt. An demselben

ist zunächst das Stativ so eingerichtet, dass der ganze auf dem Mikroskopfuss ruhende Theil um eine horizontale Achse drehbar ist, so dass der Tubus in jede beliebige zwischen der verticalen und horizontalen befindliche Lage gebracht werden kann. Ferner ist der Tubus zum Ausziehen eingerichtet, die bei A sichtbare Scala gibt in Millimetern die jedesmalige Tubuslänge an. Am unteren Ende des Tubus

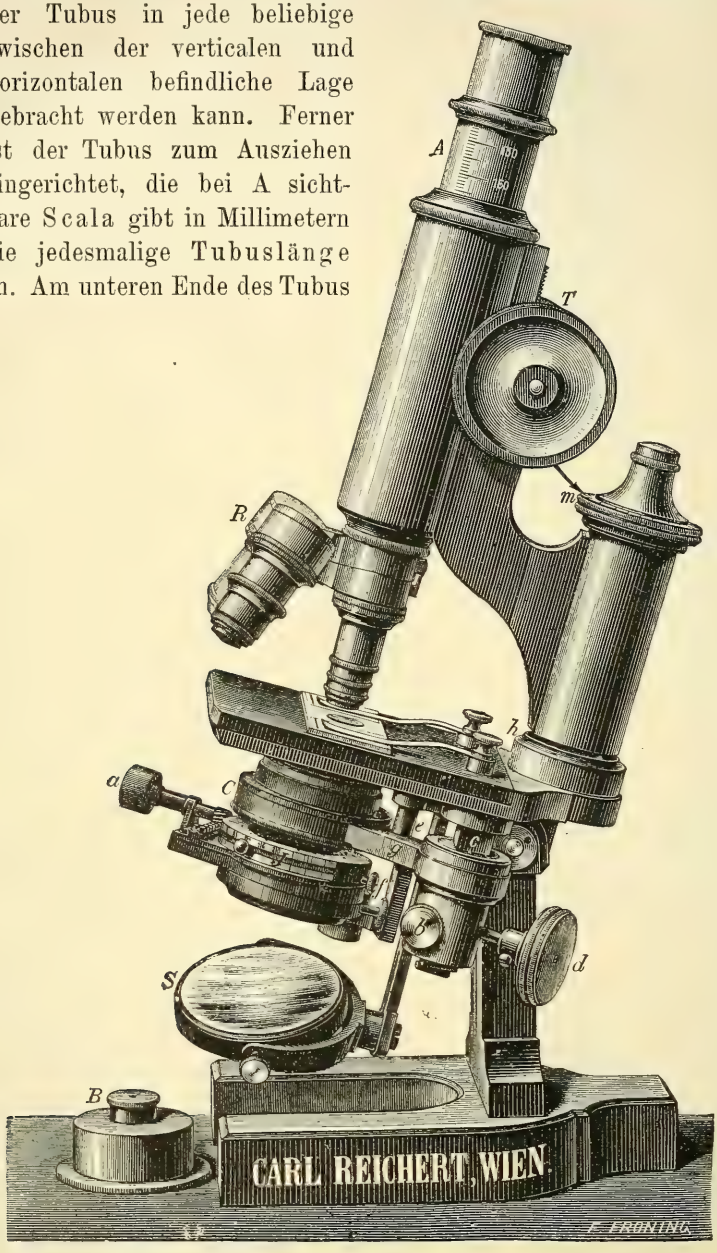


Fig. 46.

befindet sich ausserdem der zur gleichzeitigen Aufnahme von 3 Objectiven dienende Revolver (R).

Die grobe Einstellung geschieht durch „Zahn und Trieb“ mit Hilfe der bei T sichtbaren Handhaben. An der zur feinen Einstellung dienenden Vorrichtung findet sich eine Scala, die unter dem bei m befindlichen Zeiger verschoben wird; es dient dies, wie wir später noch sehen werden, zur Ausführung von Messungen der Tiefendimensionen.

Schliesslich sei an dieser Stelle gleich noch auf den unterhalb des Objecttisches befindlichen Abbe'schen Beleuchtungsapparat hingewiesen, der im wesentlichen aus dem Spiegel (S), dem Diaphragmenträger (J) und dem Condensorsysteme (C) besteht. Auf die specielle Einrichtung dieses Apparates werden wir später noch näher einzugehen haben.

I. Allgemeines über den Strahlengang und die Strahlenbegrenzung im Mikroskop.

§ 86. Um zunächst eine möglichst übersichtliche Anschauung von der Bilderzeugung im Mikroskop zu erlangen, können wir uns dasselbe einfach aus 2 Convexlinsen zusammengesetzt denken, von denen die untere (Ob, Fig. 47) das Objectiv, die obere (Oc) das Ocular darstellen möge. Die Brennpunkte dieser Linsen sollen sich in F_1 und F_2, resp. F'_1 und F'_2 befinden. Von dem durch den kleinen Pfeil $P_1 P_2$ dargestellten Objecte entwirft nun zunächst das Objectiv ein stark vergrössertes umgekehrtes Bild $P'_1 P'_2$. Damit dies geschieht muss sich das Object ($P_1 P_2$) nach § 15 zwischen der einfachen und doppelten Brennweite des Objectivs befinden. Dieses reelle Bild wird nun ferner mit dem Ocular (Oc) wie mit einer Lupe angeschaut. Es wird also von diesem in der Entfernung der deutlichen Sehweite ein virtuelles und noch weiter vergrössertes Bild ($P''_1 P''_2$) entworfen. Damit dies geschieht, muss nach § 15 das vom Objectiv entworfene Bild $P'_1 P'_2$ um weniger als die einfache Brennweite von dem Ocular entfernt sein.

§ 87. Die Strahlenbegrenzung wird in diesem Falle durch die hinter dem Objectiv angenommene Blendung BB bewirkt, deren Oeffnung durch $B_1 B_2$ dargestellt ist. Wir erhalten also den gesammten von dem Punkte P_1 in das Mikroskop gelangenden Lichtkegel, wenn wir die von P_1 durch den Rand der Blendung gehenden Randstrahlen construieren. Wir benutzen hierzu nach § 28 das Bild der Blendung $B_1 B_2$, die Eintrittspupille $E_1 E_2$. Offenbar stellt $E_1 P_1 E_2$ den Oeffnungswinkel der in das betreffende Objectiv gelangenden Strahlen dar, während die aus demselben austretenden Strahlenkegel den bedeutend geringeren Oeffnungswinkel $B_1 P'_1 B_2$ besitzen. Unter dem gleichen Oeffnungswinkel

fallen nun natürlich auch die von dem Bilde $P'_1 P'_2$ ausgehenden Strahlenkegel auf das Ocular (Oc). Die die Begrenzung der aus dem Ocular austretenden Strahlen bewirkende Austrittspupille des Mikroskops findet man dagegen, indem man das vom Ocular entworfene Bild der Blendung BB construiert. Da nun diese relativ weit vom Ocular ent-

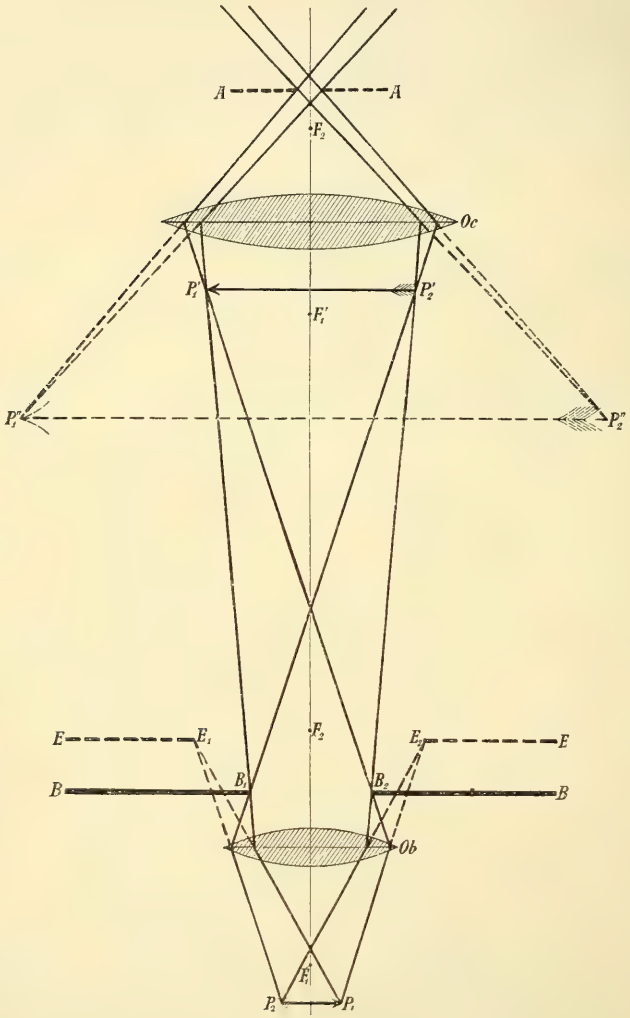


Fig. 47.

fernt ist, liegt ihr Bild offenbar dicht über dem Brennpunkt des Oculars und zwar nach unserer Construction in der Ebene A A.

Aus der Figur 47 ist ferner unmittelbar ersichtlich, dass der aus dem Mikroskop austretende Strahlenkegel in der Ebene A A die geringste

Ausdehnung besitzt, und es leuchtet somit ohne weiteres ein, dass in das Auge das meiste Licht gelangen muss, wenn wir dasselbe so halten dass die Austrittspupille des Mikroskops mit der Eintrittspupille des Auges zusammenfällt. Der Mittelpunkt des von der Austrittspupille des Mikroskops begrenzten Kreises wird deshalb auch wohl als Augenpunkt bezeichnet.

§ 88. Einen etwas specielleren Einblick in den Strahlengang des Mikroskops wollen wir uns nun ferner an der Hand der Figur 48 verschaffen. In derselben stellt A A die Augenlinse, C C die Collectivlinse des Oculars dar, und es mögen sich die Brennpunkte dieser Linsen in Fa und Fa', resp. Fc und Fc' befinden. Das Objectiv ist durch O O dargestellt und besitze die Brennpunkte Fo und Fo'. Durch B B sei das Condensorsystem des Beleuchtungsapparates angedeutet, und es mögen sich die Brennpunkte desselben in Fb und Fb' befinden. Die Beleuchtung geschieht durch den Planspiegel S S. Die Beobachtung des Bildes geschehe schliesslich durch das oberhalb des Oculars befindliche Auge.

Um nun zunächst die von diesem Linsensystem bewirkte Art der Abbildung zu ermitteln, wollen wir den vom Punkte P_1 ausgehenden Strahlenkegel und die daraus sich ergebende Abbildung des Objectes $P P_1$ auf seinem Wege bis zur Netzhaut des Auges verfolgen. Durch das Objectiv würden wir offenbar zunächst, wie im vorigen Falle, das reelle, vergrösserte Bild $P' P'_1$ erhalten, wenn dasselbe nicht von der Collectivlinse des Oculars (C C) aufgefangen würde. Durch die Wirkung dieser Linse erhalten wir nun nach § 20 an Stelle des Bildes $P' P'_1$ das etwas kleinere der Collectivlinse näher liegende Bild $P'' P''_2$. Dieses befindet sich nun aber innerhalb der Brennweite der Augenlinse des Oculars, die infolge dessen von demselben ein vergrössertes virtuelles Bild $P''' P'''_1$ erzeugt. Die nach diesem convergierenden Strahlen rufen schliesslich, wenn sich das Bild $P''' P'''_1$ in der deutlichen Sehweite des Auges befindet, auf der Netzhaut desselben ein reelles verkleinertes Bild $P'''' P''''_1$ hervor.

§ 89. Die Strahlenbegrenzung wird auch in diesem Falle durch eine hinter dem Objectiv gelegene Blendung (J J) hervorgebracht, deren vom Objectiv erzeugtes Bild, die Eintrittspupille, sich in der Ebene E E befinden möge. Der Oeffnungswinkel des Objectivs wird dann also bestimmt durch den Winkel $E_1 P E_2$. Durch Verfolgung der durch den gleichen Rand der Blendung gehenden Strahlen $P J_1$ und $P_1 J_1$ bis zum Schnittpunkt jenseits des Oculars finden wir nun offenbar das von den beiden Linsen des Oculars entworfene Bild der Blendung $J_1 J_2$, die Austrittspupille des Mikroskops. Diese fällt nun, wie aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, in die gleiche Ebene wie die Eintrittspupille des Auges. Es ist nun übrigens ferner aus der Figur ersichtlich, dass

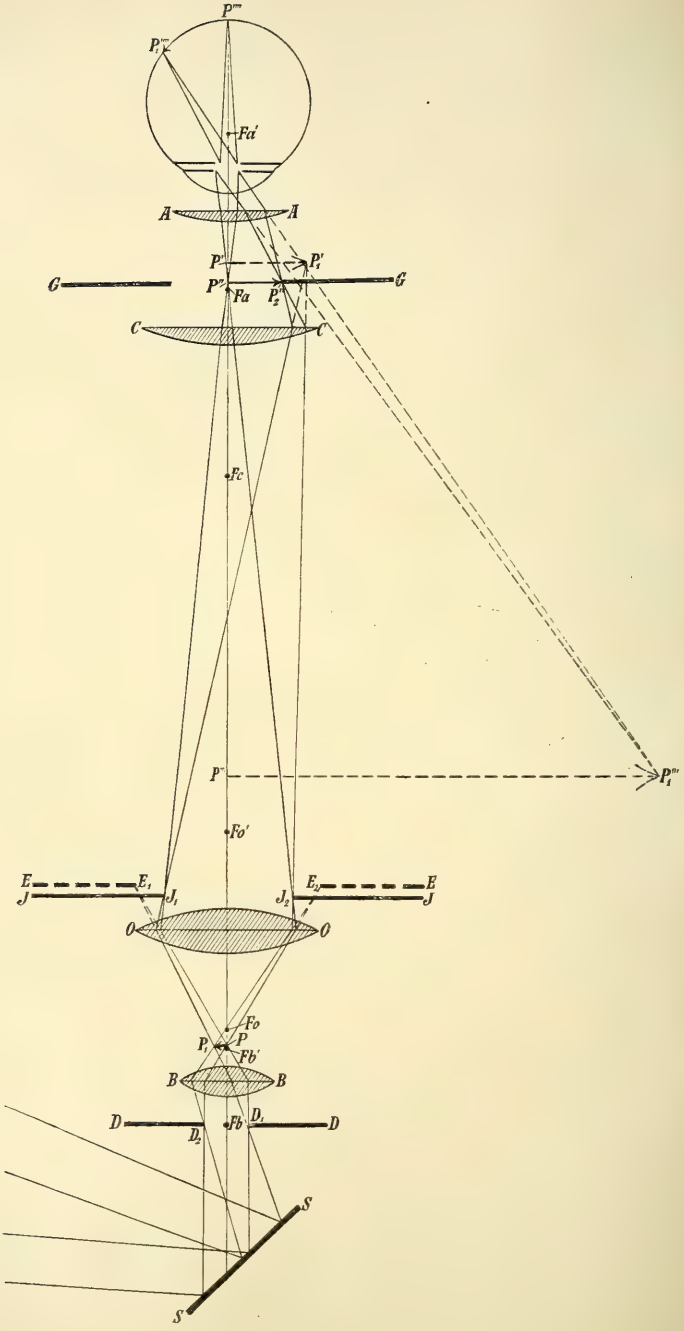

P'''
P'''1
Fa'
A
A
P'
P'1
G
G
P''
Fa
P''2
P''1
C
C
Fc
P''
P'''1
Fo'
E
E1
J
J1
J2
E2
E
J
O
O
Fo
P1
P
Fb'
B
B
D
Fb
D1
D
D2
S
S

Fig. 48.

die Grösse der Austrittspupille des Mikroskops im Verhältnis zur Eintrittspupille relativ gering ist. Sie ist ja in unserer Figur so klein, dass sie nicht einmal den relativ kleinen Oeffnungswinkel des Auges ausfüllt. Uebrigens wird ja schon der vom Objectiv ausgehende Strahlenkegel ($J_1 P' J_2$) einen um so kleineren Oeffnungswinkel besitzen, je weiter der Punkt P' von dem Objectiv entfernt ist; durch die Collectivlinse wird dann allerdings eine kleine Vergrösserung des Oeffnungswinkels hervorgebracht, durch die Augenlinse wird aber wieder eine bedeutende Verkleinerung desselben bewirkt.

§ 90. Der Zweck des für durchfallendes Licht bestimmten Beleuchtungsapparates ist es offenbar, auf das in der Ebene $P P_1$ befindliche Object einen Strahlenkegel von ausreichender Oeffnung fallen zu lassen. In unserer Construction ist nun die einfachste Annahme gemacht, dass der vom Condensor (B B) gelieferte Strahlenkegel den Oeffnungswinkel des Objectivs gerade ausfüllt. Wenn sich die unter dem Condensor befindliche Blendung (D D) genau in der Ebene des von dem Condensor entworfenen Bildes der Eintrittspupille befindet, dann ist dies offenbar der Fall, wenn D_1 und D_2 die Abbildung von E_1 und E_2 darstellen, wie dies in unserer Construction in der That der Fall ist.

Die zur Ausfüllung des ganzen Oeffnungswinkels des Objectivs erforderliche Grösse des Spiegels und der Lichtquelle lässt sich bestimmen, wenn wir den Verlauf der Randstrahlen $P_1 D_1$ und $P D_2$ bis zum Spiegel, resp. bis zur Lichtquelle verfolgen.

Die Begrenzung des Gesichtsfeldes könnte natürlich in erster Linie durch die Begrenzung des in der Ebene $P P_1$ befindlichen Objectes bewirkt werden. Im allgemeinen dient aber zu diesem Zwecke die im Ocular befindliche Blendung (G G, Fig. 48 und B, Fig. 45), die in die gleiche Ebene wie das von der Collectivlinse des Oculars entworfene Bild $P'' P''_2$ fällt. Offenbar muss eine in dieser Ebene befindliche Blendung eine vollkommen scharfe Abgrenzung des Gesichtsfeldes bewirken.

§ 91. Will man sich durch directe Beobachtung von der Lage der verschiedenen im Obigen erwähnten Bilder überzeugen, so bringt man zweckmässig auf den Objecttisch des Mikroskops ein mit einer groben Structur versehenes Präparat, etwa die Abbe'sche Testplatte oder auch einen Objectträger, auf den man mit Tusche oder dergl. einen kleinen Buchstaben aufgezeichnet hat, und stellt dann mit mittelstarker Vergrösserung und unter starker Beleuchtung auf das betreffende Präparat ein.

Um zunächst das vom Objectiv allein entworfene Bild ($P' P'_1$, Fig. 48) zu beobachten, bringt man in diese Ebene nach Entfernung des Oculars ein Stück Pauspapier, das man z. B. nach dem Abschrauben der beiden Linsen auf die Blendung des Oculars legen kann;

besonders zweckmässig ist zu derartigen Versuchen auch das sogenannte Messocular (cf. § 206 und Fig. 94). Hat man ein einigermaassen starkes Objectiv benutzt, so wird man dann finden, dass man das Ocular nicht ganz in den Tubus hereinsenken darf, um auf dem Pauspapier ein scharfes Bild von dem betreffenden Objecte zu beobachten; das von dem Objectiv allein entworfene Bild liegt ja in der That etwas höher als die Blendung des in normaler Weise völlig in den Mikroskoptubus hineingeschobenen Oculars.

Schraubt man nun zur Beobachtung des Bildes ($P''P''_2$, Fig. 48) die Collectivlinse wieder an das betreffende Ocular an, so muss man, um auf dem Pauspapier ein scharfes Bild zu erhalten, das Ocular ganz in den Tubus des Mikroskops hineinschieben, da ja jenes Bild in der That in die Ebene der Ocularblendung fällt (cf. Fig. 48).

Um schliesslich die Austrittspupille des Mikroskops zu beobachten, muss man nach Einsetzung des normalen Oculars ein Stück Pauspapier in vertilaler Richtung über dem Mikroskoptubus verschieben. Man beobachtet dann auf der Papierfläche einen kleinen hellen Kreis, der, sobald sich das Papier in der Ebene der Austrittspupille befindet, eine vollkommen scharfe Begrenzung zeigt. Der in dieser Ebene beobachtete helle Kreis stellt auch direct die Austrittspupille des Mikroskops dar.

§ 92. Die richtige **Einstellung** des Mikroskops ist offenbar dann gefunden, wenn sich das vom Ocular entworfene Bild in der Entfernung der deutlichen Sehweite befindet. Diese Einstellung wird nun gewöhnlich nicht durch eine Aenderung des zwischen Objectiv und Ocular befindlichen Abstandes, sondern durch Verschiebung des ganzen Tubus, mit dem ja Ocular und Objectiv fest verbunden sind, erreicht; es wird also mit anderen Worten der Abstand zwischen Objectiv und Object derartig reguliert, dass das schliesslich vom Mikroskop erzeugte Bild in die Entfernung der deutlichen Sehweite fällt. Die bei einer derartigen Aenderung des Abstandes zwischen Object und Objectiv eintretenden Verschiebungen der verschiedenen Bilder sind nun unmittelbar aus Fig. 49 ersichtlich, in der auf der rechten und linken Seite für einen vom Objectiv verschieden weit entfernten Punkt (P_1 und P_2) die verschiedenen Bilder angegeben sind. Die Vergleichung der Bilder dieser Punkte zeigt unmittelbar, dass mit Annäherung an das Objectiv das von diesem entworfene Bild (P'_2) sich von der Collectivlinse des Oculars entfernt, und dass somit auch das von dieser entworfene Bild (P''_2) der Augenlinse näher liegt als (P''_1). Infolge dessen gibt dann auch das erstere Bild bei der Betrachtung durch die Augenlinse ein weniger stark vergrössertes, der Augenlinse näher liegendes virtuelles Bild (P'''_2) als der vom Objectiv weiter abstehende Punkt P_1, der offenbar das Bild P'''_1 liefert.

Besonders beachtenswert ist nun übrigens, dass man durch geringe Verschiebung des Tubus eine sehr grosse Verschiebung des schliesslichen mikroskopischen Bildes erhält. In der That ist ja der verticale Abstand der Punkte P_1 und P_2 äusserst gering im Verhältnis zu demjenigen der

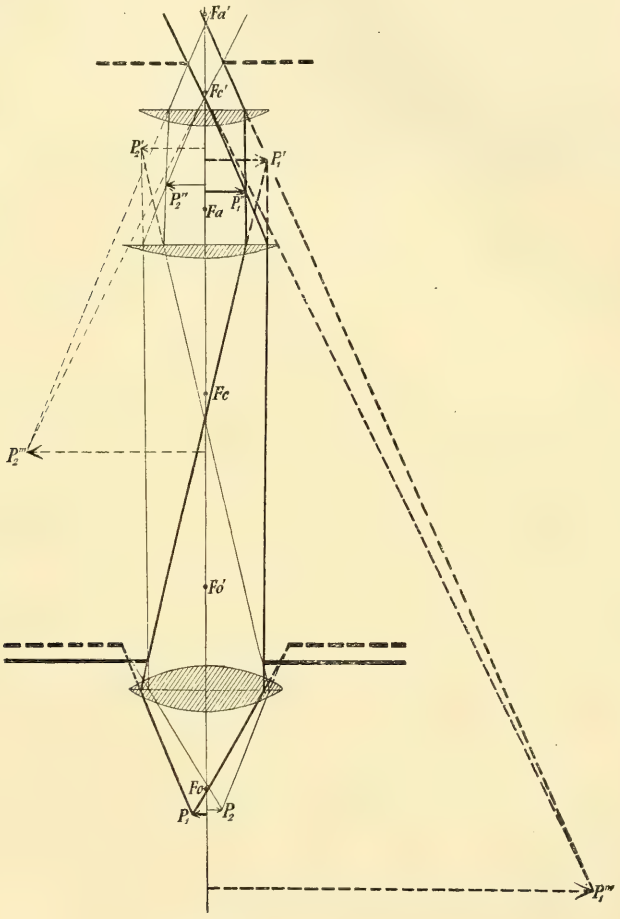


Fig. 49.

Bildpunkte P'''_1 und P'''_2. Ebenso sind ferner auch, um ein zuvor für ein weitsichtiges Auge eingestelltes Mikroskop für ein kurzsichtiges Auge einzustellen, im allgemeinen nur geringe Verschiebungen des Tubus nothwendig.

§ 93. Nach dem Obigen dürfte nun auch die Wirkungsweise des ausziehbaren Tubus leicht verständlich sein. Es leuchtet wohl ohne weiteres ein, dass man, um nach einer Verlängerung des Tubus das schliessliche Bild in der gleichen Weite zu erhalten, den Tubus ent-

sprechend senken muss, damit sich das vom Objectiv entworfene Bild von diesem entfernt und dadurch an die gleiche Stelle des Oculars gebracht wird.

§ 93. Besonders hervorheben möchte ich jedoch an dieser Stelle, dass man bei der mikroskopischen Beobachtung stets von der zur feinen Einstellung dienenden Schraube den ausgedehntesten Gebrauch machen muss. Das menschliche Auge ist ja allerdings auch einer relativ weitgehenden Accommodation fähig, diese erfordert aber stets eine gewisse Anstrengung und bewirkt bei andauerndem Mikroskopieren eine starke Ermüdung des Auges, die durch fortwährende Anwendung der Mikrometerschraube leicht vermieden werden kann.

2. Specielle Besprechung der einzelnen Theile des Mikroskops.

a) Das Objectiv.

§ 94. Während die älteren Objective meistens aus einer grösseren Anzahl (3—5) von Linsen bestanden, durch deren verschiedene Combination ebenso viele verschiedene Grade der Vergrösserung erzeugt werden konnten, sind neuerdings nur noch die schwächeren Systeme zum Theil so eingerichtet, dass durch Abschrauben der vorderen Linsen schwächere Vergrösserungen hervorgebracht werden können.

Bei einem von Zeiss construierten Systeme (a*) wird ferner ein Wechsel der Vergrösserung dadurch erreicht, dass die beiden dasselbe zusammensetzenden achromatischen Linsen sich gegeneinander verschieben lassen. Es kann so die Vergrösserung ganz continuierlich bis auf das Doppelte gesteigert werden.

Dahingegen sind zur Zeit die stärkeren Systeme ausnahmslos so construiert, dass sie nur als Ganzes ein fehlerfreies Bild liefern, und es ist auch bei ihnen ein Auseinanderschrauben gänzlich zu unterlassen.

§ 95. Hinsichtlich der speciellen Construction der Objective sei ferner nur hervorgehoben, dass dieselben in der Regel aus 2 oder 3 Linsenpaaren, manche aber aus bis zu 10 Linsen bestehen. So stellt z. B. die nach einer Zeichnung von Czapski copierte Fig. 50 den Längsschnitt durch den unteren Theil eines apochromatischen Oel-Immersionssystemes von Zeiss dar.

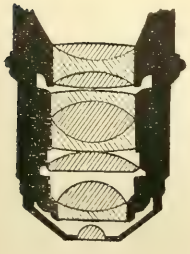


Fig. 50.

Durch eine derartige Vermehrung der Linsen wird nun, wie bereits in § 44—53 besprochen wurde, eine Verminderung der durch sphärische und chromatische Aberration bedingten Abbildungsfehler bewirkt,

und es ist dieselbe somit für die Leistungsfähigkeit der Objective von der grössten Bedeutung. Dennoch wollen wir uns in dieser Beziehung auf die Bemerkung beschränken, dass die aus zahlreichen Linsen bestehenden Objective, abgesehen von der viel vollkommeneren Abbildung, in ihrer Gesammtwirkung mit derjenigen einer einfachen Convexlinse vollkommen übereinstimmen, und wir werden denn auch in einem späteren Capitel sehen, wie es möglich ist, die einzelnen Cardinalpunkte eines Objectives, die Brenn- und Hauptpunkte, empirisch festzustellen. Ebenso sollen auch in einem späteren Capitel die verschiedenen Methoden beschrieben werden, die zur Prüfung der Objective auf das Vorhandensein und die Grösse der verschiedenen Abbildungsfehler angewandt werden.

§ 96. Erwähnen will ich jedoch gleich noch an dieser Stelle, dass man neuerdings, der von Abbe eingeführten Nomenclatur (cf. § 53) folgend, gewöhnlich je nach dem Grade der Correction der verschiedenen Abbildungsfehler zwischen achromatischen und apochromatischen Objectiven unterscheidet. Die Construction der den höchsten Grad des Aplanatismus und der Achromasie zeigenden Apochromate war nun, wie bereits § 53 bemerkt wurde, erst möglich geworden, nachdem dem Jenaer „Glastechnischen Laboratorium Schott und Genossen“ die Herstellung neuer Glasarten (namentlich Borat- und Phosphatgläser) gelungen war. Unglücklicherweise hat sich nun aber später herausgestellt, dass einige von diesen Gläsern keine unbegrenzte Haltbarkeit besitzen, so dass die zuerst angefertigten Apochromate nach einiger Zeit anfingen trübe zu werden. Uebrigens werden derartige Systeme, falls sie nicht durch Auseinanderschrauben der Fassung und versuchte Reinigung oder ähnliche vorherige Eingriffe von anderer Hand verletzt sind, von der Zeiss'schen Werkstätte kostenfrei repariert. Ausserdem besitzen auch nach den inzwischen gesammelten Erfahrungen die bei den neueren Apochromaten zur Verwendung gelangenden Glasarten beim Gebrauch in den gemässigten Klimaten eine unbegrenzte Haltbarkeit. Dahingegen wird vor einem Gebrauch der Apochromate in den Tropen gewarnt, da auch die neuerdings bei denselben zur Anwendung gelangenden Gläser der gleichzeitigen Wirkung hoher Temperatur und grosser Luftfeuchtigkeit auf die Dauer nicht zu widerstehen vermögen.

Besonders hervorheben möchte ich übrigens gleich noch an dieser Stelle, dass die grosse Apertur und der relativ grosse Objectabstand der Apochromate eine gewisse Krümmung der Bildfläche unvermeidlich macht. Es liegen also bei den Apochromaten die von verschiedenen Punkten einer genau horizontal stehenden ebenen Fläche gelieferten Bilder nicht in einer Ebene, sondern können nur durch Verschiebung der Mikrometerschraube scharf eingestellt werden. Da ja aber die Apochromate bei wissenschaftlichem Gebrauch weniger für Uebersichtsbilder, als für die

Entscheidung schwieriger Detailfragen bestimmt sind, kann diesem Umstand keine grosse Bedeutung zugeschrieben werden. Bei der Mikrophotographie macht sich derselbe allerdings dadurch in unliebsamer Weise bemerkbar, dass bei Benutzung der Apochromate stets nur ein Theil des Gesichtsfeldes scharf abgebildet wird.

Ausser den achromatischen und apochromatischen Objectiven wurden nun übrigens neuerdings auch mehrfach Systeme von mittlerer Correction unterschieden und theils als „Semiapochromate", theils als „Panachromate" bezeichnet. Natürlich unterliegen diese Bezeichnungen einer gewissen Willkür, und thut man vor dem Ankauf eines derartigen Objectives jedenfalls gut, sich von der Leistungsfähigkeit desselben mit Hilfe der im § 184—189 besprochenen Methoden zu überzeugen.

§ 97. Von praktischer Bedeutung für die Verwendbarkeit eines Objectivs ist ferner auch der freie Objectabstand desselben, d. h. der Abstand, in dem sich das zu beobachtende Object von der Frontfläche des Objectivs befindet. Derselbe ist natürlich von der Entfernung des vorderen Brennpunktes des Objectivs von der Vorderfläche desselben abhängig und ist im allgemeinen um so kleiner, je stärker die Vergrösserung und der Oeffnungswinkel des betreffenden Objectivs. Bei starken Systemen ist denn auch häufig der Objectabstand so gering, dass die Benutzung sehr dünner Deckgläschen nothwendig wird und Beobachtungen dickerer Objecte oder auch namentlich solche im hängenden Tropfen nur sehr unvollkommen ausgeführt werden können. Uebrigens ist dies namentlich bei Systemen älterer Construction der Fall, da neuerdings von den meisten Fabrikanten speciell auf diesen für die Praxis ja auch sehr wichtigen Punkt besonders Gewicht gelegt wird. Eine zur Feststellung der Grösse des freien Objectabstandes dienende Methode soll in § 175 auseinandergesetzt werden.

§ 98. Die Bezeichnung der verschiedenen Objective geschah bis vor wenigen Jahren fast ausschliesslich willkürlich durch Zahlen oder Buchstaben, und zwar bezeichnet man gewöhnlich die schwächeren Systeme mit den ersten Buchstaben des Alphabets oder niedrigen Zahlen und lässt dieselben entsprechend der Stärke der Vergrösserung ansteigen. Aeusserlich sind übrigens die stärkeren Systeme von den schwächeren meist dadurch zu unterscheiden, dass der absolute Durchmesser der Frontlinse im allgemeinen um so kleiner ist, je stärker die Vergrösserung des betreffenden Systemes ist.

In neuerer Zeit ist es nun übrigens auch üblich geworden, die einzelnen Objective direct nach den optischen Constanten, speciell der Brennweite, zu bezeichnen, und zwar wählte man hierbei auch in Deutschland zunächst als Einheit gewöhnlich den englischen Zoll und so hat z. B. das Immersionssystem $\frac{1}{12}$ eine Brennweite von $\frac{1}{12}$ Zoll oder 2·1 *mm*.

Bei den Zeiss'schen Apochromaten wurde dagegen zuerst die in Millimeter ausgedrückte Brennweite des Objectivs und die numerische Apertur (s. § 36) zur Bezeichnung der verschiedenen Objective angewandt, und es sind neuerdings auch verschiedene Fabrikanten diesem Beispiele gefolgt. Es ist dies auch in der That sehr zweckmässig, da es so möglich ist, direct aus der Bezeichnung das optische Vermögen eines Objectivs zu ersehen.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen über die Eigenschaften der Objective sollen nun schliesslich in diesem Capitel die Immersionssysteme, die Correctionsfassung der Objective und die Mittel zum Anschrauben und Auswechseln derselben noch etwas eingehender besprochen werden.

1. Die Immersionssysteme.

§ 99. Die sogenannten Immersionssysteme unterscheiden sich von den Trockensystemen dadurch, dass die bei diesen zwischen Deckgläschen und Objectiv befindliche Luftschicht durch eine Flüssigkeitsschicht (destilliertes Wasser, Cedernöl oder dergl.) ersetzt wird. Es wird hierdurch zunächst eine vollkommenere Correction möglich gemacht und eine Verminderung des auf partieller Reflexion beruhenden Lichtverlustes erzielt. In noch hervorragenderer Weise sind die Immersionssysteme aber dadurch ausgezeichnet, dass bei ihnen ein bedeutend grösserer Oeffnungswinkel, eine grössere numerische Apertur, möglich ist als bei Trockensystemen. Bei diesen werden ja, wie wir § 34 sahen, alle Strahlen, deren Neigungswinkel gegen die Achse einen gewissen Wert den („Grenzwinkel") überschreitet, beim Uebertritt aus dem Deckgläschen in die zwischen diesem und dem Objectiv befindliche Luftschicht total reflectiert, und es ist also in diesem Falle, wenn wir den Oeffnungswinkel in Glas messen, stets nur ein relativ geringer Wert desselben (82°) möglich. Ein grösserer Oeffnungswinkel ist aber bereits möglich, wenn an Stelle von Luft zwischen Objectiv und Deckglas Wasser eingeschaltet wird. In diesem Falle beträgt nach § 35 der doppelte Grenzwinkel, der ja als äusserste Grenze für den Oeffnungswinkel angesehen werden kann, 122°. Noch günstiger gestaltet sich nun aber das Verhältnis, wenn an jener Stelle statt Wasser ein Medium eingeschaltet wird, welches den gleichen Brechungsindex besitzt, wie Glas. In diesem Falle, der bei der sogenannten homogenen Immersion verwirklicht ist, gehen offenbar alle Strahlen ungebrochen bis zum Objectiv hindurch, und es ist dann die Grösse des Oeffnungswinkels des Objectivs nur von der Construction desselben abhängig.

§ 100. Von den verschiedenen Arten von Immersionssystemen sind nun die Wasserimmersionen am längsten in Gebrauch; bei diesen

muss natürlich reines destilliertes Wasser als Immersionsflüssigkeit benutzt und also zwischen die Frontlinse des Objectivs und das Deckglas eingeschaltet werden. Wenn nun auch diese Systeme in ihrer optischen Leistungsfähigkeit den Systemen für homogene Immersion erheblich nachstehen, so bieten sie doch auch diesen gegenüber — abgesehen von dem geringeren Preise — in manchen Fällen gewisse Vortheile. So lässt sich z. B. bei den Wasserimmersionen die Immersionsflüssigkeit viel leichter von dem Deckglase entfernen, so dass dieselben stets schnell und ohne Mühe gegen ein anderes Objectiv ausgetauscht werden können, was namentlich bei der Beobachtung lebender Objecte im hängenden Tropfen oder dergl. von Nutzen sein kann.

Um die Untersuchung lebender in Wasserkammern befindlicher Objecte bei mittlerer (200—500facher) Vergrösserung zu erleichtern, wurde neuerdings von Zeiss eine Wasserimmersion (D*) mit grossem Focalabstand, aber relativ kleiner Apertur angefertigt. Es wird bei diesem System der Correctionsgrad (s. § 102) durch die Einstellung auf verschieden tiefe Stellen der Kammer nicht beeinträchtigt, da ja offenbar beim Wechsel der Einstellung stets nur eine Wasserschicht über dem Deckglas an Stelle einer solchen unter demselben tritt. Das Bild behält also bei dieser Art des Gebrauches stets seine volle Schärfe. Das betreffende System kann übrigens ebensowohl mit als ohne Deckglas benützt werden und gibt mit Süsswasser ebenso gute Bilder wie mit Seewasser.

§ 101. Für die Systeme mit homogener Immersion wird zur Zeit gewöhnlich bis zu einem bestimmten Grade eingedicktes Cedernöl als Immersionsflüssigkeit benutzt. Dasselbe wird von den meisten Fabriken gleichzeitig mit den Immersionssystemen geliefert und ist im Bedarfsfalle, da für die Reinheit des Bildes die Grösse des Brechungsindex des Oeles von grosser Bedeutung ist, am sichersten von den Lieferanten des betreffenden Objectives nachzubeziehen. Da übrigens bei den gewöhnlichen Glasflaschen, die mit einem an den Glasstopfen angeschmolzenen Glasstab versehen sind, stets schon nach kurzer Zeit ein Ueberfliessen des Immersionsöles eintritt, kann man dasselbe zweckmässig in der von Zeiss speciell zu diesem Zwecke construierten Glasflasche aufbewahren (cf. Behrens, III).

Eine Erwähnung verdient an dieser Stelle schliesslich noch ein vor einiger Zeit von Zeiss construiertes System, bei dem Monobromnaphtalin, das den Brechungsindex 1·66 besitzt, als Immersionsflüssigkeit dient. Es wird hierdurch eine Apertur von bis zu 1·63 ermöglicht. Abgesehen von dem hohen Preise steht aber der allgemeineren Anwendung dieser Objective der Umstand entgegen, dass die zu beobachtenden Objecte, wenn die hohe Apertur ausgenutzt werden soll, natürlich auch

in entsprechend stark lichtbrechende Medien, wie Monobromnaphtalin, Realgar, Quecksilberjodid o. dgl. eingebettet werden müssen; ausserdem müssen geschliffene Deckgläschen aus einer bestimmten Art schweren Flintglases von genau richtiger Dicke und, wenn man auch dem Beleuchtungskegel eine Apertur von über 1·40 geben will, Objectträger aus Flintglas und ein besonderer Flintglas-Condensor angewandt werden.

Beim Gebrauch der Immersionssysteme ist natürlich darauf zu achten, dass sich zwischen Objectiv und Deckglas keine Luftblase befindet. Man bringt deshalb auch zweckmässig vor dem Anschrauben desselben an den Tubus einen nicht allzu grossen Tropfen der Immersionsflüssigkeit an die Frontlinse des Systems.

2. Der Einfluss des Deckgläschens und die Correctionsfassung.

§ 102. Den Einfluss, den das Deckgläschen auf das mikroskopische Bild ausübt, wollen wir uns zunächst an der Hand der Fig. 51 klar machen. In derselben ist angenommen, dass der von dem in Luft befindlichen Punkte (P) des zu beobachtenden Objectes ausgehende Strahlen-

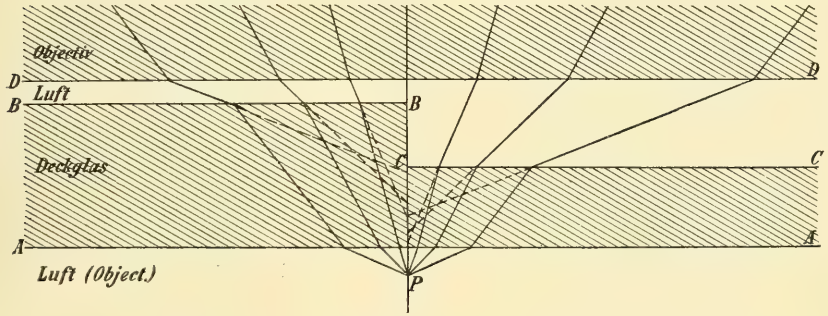


Fig. 51.

kegel in der Ebene A A in das Deckgläschen übertritt. Dieses besitzt ferner auf der linken Seite eine doppelt so grosse Dicke, als auf der rechten. Aus dem Deckgläschen treten die Strahlen dann in den Ebenen B B und C C wieder in Luft über und aus dieser in der Ebene D D in das Objectivsystem. In allen diesen Flächen findet nun natürlich eine entsprechende Brechung der einfallenden Lichtstrahlen statt, die sich aus dem Brechungsgesetze $\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{n'}{n}$ leicht berechnen lässt. In der nebenstehenden Figur sind denn auch die einzelnen Strahlen nach einer derartigen Berechnung genau eingezeichnet. Für unsere Frage ist nun zunächst von Wichtigkeit, dass die Strahlen, die in den Flächen B B (resp. C C) aus dem Deckglas austreten, wenn wir sie rückwärts ver-

längern, sich keineswegs in einem Punkte schneiden, und zwar liegt der Schnittpunkt dieser Strahlen mit der Achse dem Objectivsystem um so näher, je grösser der Neigungswinkel der betreffenden Strahlen ist. Ferner zeigt die Vergleichung der rechten und linken Seite der Figur, dass die Schnittpunkte der einzelnen Strahlen um so weiter auseinander rücken, je dicker das betreffende Deckglas ist.

§ 103. In § 46 haben wir nun gesehen, dass bei einem unterverbesserten Linsensysteme von den von einem Punkte (P, Fig. 52) ausgehenden Strahlen die Randstrahlen sich in einem der Linse näheren Punkte schneiden als die nahe der Achse verlaufenden Strahlen. Denken wir uns nun aber in Fig. 52 Object- und Bildraum vertauscht, so ge-

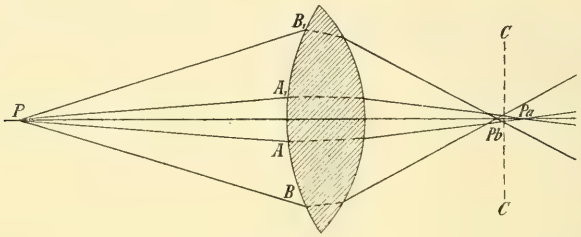


Fig. 52.

langen wir zu dem Satze, dass durch ein unterverbessertes System Strahlencomplexe in einem Punkte vereinigt werden, deren Durchschnittspunkte mit der Achse sich mit der Neigung gegen diese der Linse nähern. Da nun ferner der von dem Punkte P (Fig. 51) ausgehende Strahlenkegel durch den Einfluss des Deckglälschens in einen derartigen Strahlencomplex verwandelt wird, so leuchtet ein, dass diese Strahlen bei Anwendung einer mit entsprechender Untercorrection behafteten Linse wiederum in einem Punkte vereinigt werden müssen. Die Stärke dieser Untercorrection muss ferner um so grösser sein, je dickere Deckgläschen man benutzen will.

Bei den Systemen mit geringem Oeffnungswinkel sind nun übrigens die durch verschiedene Deckglasdicken bewirkten Aenderungen der Abbildung so gering, dass man sich in der Praxis damit begnügen kann dass man denselben eine der mittleren Deckglasdicke entsprechende Untercorrection gibt. In der That sind auch die meisten nicht mit einer Correctionsfassung versehenen Systeme für eine mittlere Deckglasdicke von c. 0·15 *mm* corrigiert. Bei manchen derartigen Systemen, so z. B. bei denjenigen von Zeiss, ist die Deckglasdicke, für welche dieselben die vollkommenste Correction besitzen, seitlich an den Linsenfassungen in kleinen Ziffern, die sich auf Millimeter beziehen, angegeben.

§ 104. Bei den stärksten Trockensystemen und denen für Wasserimmersion wird nun aber eine Regulierung der Correction häufig dadurch bewirkt, dass die einzelnen Linsen dieser Systeme in verticaler Richtung gegeneinander verschoben werden können, wodurch, wie hier nicht näher auseinandergesetzt werden kann, der Correctionszustand eines Systemes beliebig geändert werden kann. Man bezeichnet nun Objective die eine derartige Verschiebung gestatten als Systeme mit Correctionsfassung oder auch kurzweg als Correctionssysteme.

Bei den älteren Objectiven dieser Art geschieht nun die Verschiebung der Linsen gewöhnlich in der Weise, dass der untere Theil des Objectivs von dem oberen durch Schrauben genähert oder entfernt werden kann. Bei den neueren Correctionssystemen sind dagegen die unteren Linsen fest mit dem Gewinde des Systems verbunden und umgekehrt die oberen Linsen verschiebbar.

Speciell bei dem in Fig. 53 in der Totalansicht, in Fig. 54 im Längsschnitt dargestellten Correctionssystem von Reichert wird durch Drehung des Correctionsringes (cc, Fig. 54) nur der Cylinder bb, der

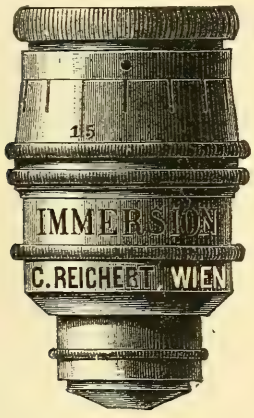


Fig. 53.

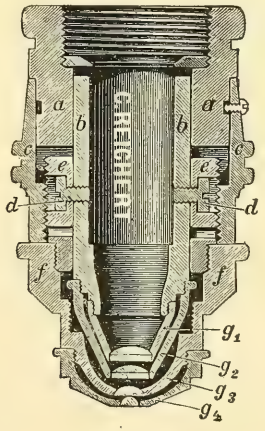


Fig. 54.

mit den Fassungen (g_1 und g_2) der beiden oberen Linsenpaare verbunden ist, bewegt; die beiden an g_3 und g_4 befestigten Linsen werden dagegen nicht verschoben. Die Totalansicht Fig. 53 zeigt ferner noch, dass der Correctionsring eine Scala trägt; dieselbe bezeichnet direct die einer jeden Deckglasdicke entsprechende Einstellung (in 0·1 *mm* ausgedrückt).

§ 105. Natürlich muss man in diesem Falle, um den betreffenden Ring richtig einstellen zu können, die Dicke des benutzten Deckglases kennen, und es sind auch verschiedene Apparate, sogenannte Deckglastaster, construiert, die eine mehr oder weniger genaue Bestimmung dieser Grösse ermöglichen.

Ein derartiger Apparat ist z. B. in Fig. 55 abgebildet; bei demselben wird durch einen Druck auf den Hebel a die seitlich angebrachte Zange b geöffnet, so dass das zu messende Deckgläschen in dieselbe hineingeschoben werden kann. Auf der auf der Oberseite des Apparates befindlichen Scala lässt sich dann die Dicke des Deckgläschens in 0·01 *mm* direct ablesen.

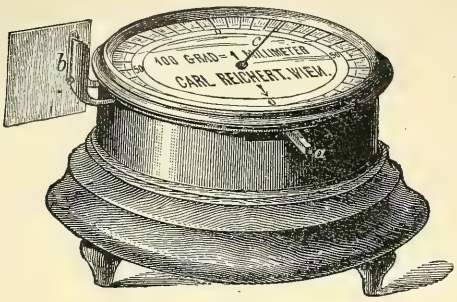


Fig. 55.

Kennt man dagegen die Dicke des benutzten Deckglases nicht, so kann man natürlich nur durch Ausprobieren die beste Correction ermitteln, wobei es allerdings aus verschiedenen Gründen vortheilhaft ist, wenn während der Correctionsänderung wie bei den neueren Systemen die dem Präparat zugekehrten Linsen nicht verschoben werden.

§ 106. Bei den Systemen für homogene Immersion findet selbst bei erheblichen Schwankungen in der Deckglasdicke keine merkliche Beeinträchtigung des mikroskopischen Bildes statt. Etwaige grössere Abweichungen der Deckglasdicke lassen sich aber, wie in dem Katalog von Zeiss p. 6 angegeben wird, dadurch ausgleichen, dass man bei zu dünnem Deckglas den Tubus verlängert, bei zu dickem verkürzt.

3. Das Anschrauben und Auswechseln der Objective.

§ 107. Die Mikroskopobjective sind fast ausnahmslos so eingerichtet, dass sie dem unteren Ende des Tubus angeschroben werden. Da nun aber die Weite der zu diesem Zwecke dienenden Gewinde bei den aus verschiedenen Fabriken stammenden Objectiven eine verschiedene ist, so ist es meist nicht ohne weiteres möglich, ein Objectiv an einem aus einer anderen Fabrik stammenden Stative zu benutzen. Es ist zu diesem Zwecke im allgemeinen die Einschaltung von einem Zwischenstücke nothwendig, das auf der einen Seite ein an den betreffenden Tubus passendes Gewinde besitzt, während es auf der anderen Seite ein dem zu benutzenden Objective entsprechendes Gewinde trägt. Auf Wunsch werden übrigens von den meisten Fabrikanten die Objective auch direct mit einem an ein Stativ anderer Herkunft passenden Gewinde versehen.

Da nun aber bei zahlreichen Untersuchungen ein sehr häufiger Wechsel zwischen schwachen und starken Vergrösserungen nothwendig ist, so kann das fortwährende An- und Abschrauben der Objective

unter Umständen sehr lästig werden, und man hat denn auch aus diesem Grunde Apparate construiert, die ein schnelles Auswechseln der Objective ermöglichen. Zu erwähnen sind in dieser Beziehung in erster Linie die schon seit langer Zeit in Gebrauch befindlichen **Revolver,** an die eine grössere Zahl (im allgemeinen 2—4) von Objectiven angeschroben wird, so dass diese dann durch einfache Drehung gegeneinander ausgewechselt werden können. Ein derartiger 3 Objective tragender Revolver befindet sich z. B. an dem in Fig. 46 p. 58 dargestellten Mikroskope. Bei demselben wird das unter dem Tubus befindliche Objectiv durch Einschnappen einer Feder in der richtigen Lage festgehalten.

Vortheilhaft ist natürlich, wenn beim Wechsel der Objective auch die Einstellung nicht geändert zu werden braucht. In der That sind denn auch die Zeiss'schen Apochromate so construiert, dass bei ihnen zur Einstellung nach dem Auswechseln der Objective höchstens eine sehr geringe Verticalverschiebung nothwendig ist. Bei anderen Objectiven lässt sich das Gleiche natürlich durch Anbringung geeigneter Zwischenstücke erreichen.

Erwähnen will ich übrigens noch, dass bei manchen Revolvern die dem Tubus zugekehrte Seite der verschiedenen Objective nicht genügend vor dem Verstäuben geschützt ist. Da nun die nach oben gekehrte Linsenfläche bei manchen Objectiven relativ schwierig zu reinigen ist (cf. § 161), sollte diesem Punkte bei der Construction der Revolver entschieden mehr Sorgfalt zugewandt werden.

§ 108. In neuerer Zeit wurde ferner von Zeiss als Ersatz für den Revolver ein als **Schlittenobjectivwechsler** bezeichneter Apparat construiert, der dem Revolver gegenüber dadurch ausgezeichnet ist, dass er einerseits eine genauere Centrierung und andererseits die Benutzung beliebig vieler Objective gestattet. Derselbe besteht aus dem in der oberen Hälfte der Fig. 56 dargestellten Tubusschlittenstück, und dem in der unteren Hälfte der Fig. 56 in Verbindung mit dem Objectiv dargestellten Objectivschlittenstück.

Bei der Benutzung wird nun zunächst das Tubusschlittenstück in der aus Fig. 57 ersichtlichen Weise dem Tubus derartig angeschraubt, dass die geneigte Schlittenführung nach vorn gerichtet ist. In diese wird sodann das mit dem Objectiv verbundene Objectivschlittenstück hineingeschoben und mit Hilfe der in Fig. 57 sichtbaren Schrauben die genaue Centrierung des Objectivs bewirkt. Bleibt dann das centrierte Objectivschlittenstück mit dem betreffenden Objectiv dauernd verbunden, so ist es offenbar jederzeit möglich, dasselbe sofort wieder in die genau centrierte Lage zurückzubringen. Natürlich braucht man aber in diesem Falle ebenso viele Objectivzwischenstücke als man Objective benutzen will. Zweckmässig ist es ferner natürlich auch in diesem Falle, wenn

die Trichterstücke der verschiedenen Objective so ausgeglichen sind, dass eine verticale Verschiebung des Tubus nach dem Wechsel der

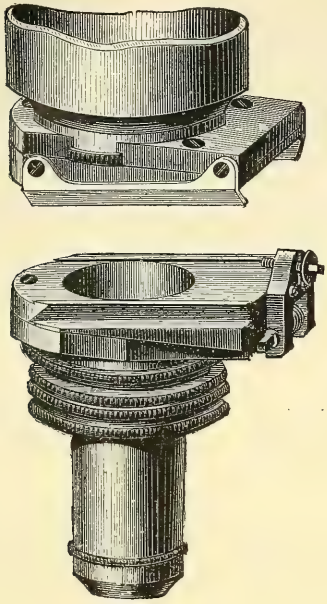


Fig. 56.

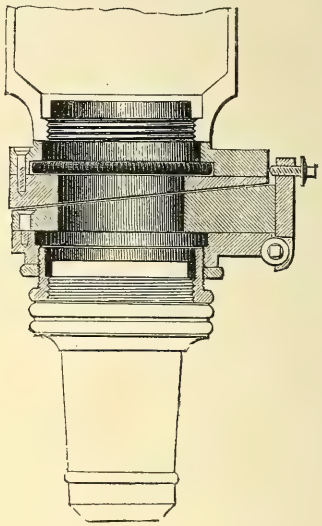


Fig. 57.

Objective überflüssig ist, wie dies bei den Zeiss'schen Apochromaten, wie bereits bemerkt wurde, in der That der Fall ist.

§ 109. Erwähnen will ich schliesslich noch, dass bei den Fuess'schen Mikroskopen neuerdings allgemein die Objective nicht mehr angeschraubt werden, sondern durch eine **Objectklammer** festgehalten werden, die einen schnelleren Wechsel und auch eine genauere Centrierung ermöglicht. Eine ähnliche Vorrichtung befindet sich auch an den neueren Mikroskopen von Klönne und Müller in Berlin.

b) Das Ocular.

§ 110. Bis vor kurzem waren bei der mikroskopischen Beobachtung die sogenannten Huygens'schen Oculare, die übrigens auch zuweilen fälschlich als Campani'sche Oculare bezeichnet werden, nahezu ausschliesslich in Gebrauch. Ausserdem wurden fast nur noch die sogenannten Ramsden'schen Oculare verwandt, und zwar namentlich dann, wenn es sich um mikroskopische Messungen handelte. Gleichzeitig mit den apochromatischen Objectiven wurde nun aber ferner in neuerer Zeit eine Reihe von eigenartigen Ocularen construiert, die aus sogleich noch näher zu erörternden Gründen als Compensationsoculare bezeichnet

werden. Ausserdem wurden zwar auch sogenannte „periskopische, „aplanatische“ und „orthoskopische“ Oculare von verschiedenen Firmen in den Handel gebracht; da dieselben aber nur eine sehr beschränkte Verbreitung zu besitzen scheinen, wollen wir uns auf die speciellere Besprechung der ersten drei Arten von Ocularen beschränken. In späteren Abschnitten sollen dann aber noch die zu besonderen Zwecken dienenden Oculare, wie das Messocular, das Spectralocular und das Projectionsocular beschrieben werden.

1. Das Huygens'sche Ocular.

§ 111. Das Huygens'sche Ocular besteht, wie schon im § 84 bemerkt wurde, aus 2 Planconvexlinsen, von denen die dem Auge des Beobachters zugekehrte als Augen- oder Frontlinse, die untere als Collectivlinse bezeichnet wird. Beide Linsen sind derartig orientiert, dass sie dem Objectiv ihre convexe Fläche zukehren, während bei dem Ramsden'schen Oculare die Convexität der Collectivlinse dem Innern des Oculars zugewandt ist.

Die beiden Linsen der Huygens'schen Oculare sind für sich nicht achromatisch, es wird aber, wie hier nicht näher auseinandergesetzt werden kann, eine achromatische Vergrösserung dadurch erreicht, dass die Entfernung der beiden Linsen des Oculars der halben Summe ihrer Brennweiten annähernd gleich ist; und zwar ist bei dem Huygens'schen Ocular die Brennweite der Collectivlinse doppelt so gross wie die der Augenlinse. Uebrigens wird bei den von den verschiedenen Optikern ausgeführten Constructionen von diesem Verhältnis aus verschiedenen Gründen mehr oder weniger erheblich abgewichen.

§ 112. Betrachten wir das Huygens'sche Ocular als Ganzes, so liegt, wie man nach der im § 179 beschriebenen Methode leicht direct beobachten kann, der untere Brennpunkt desselben zwischen den beiden Linsen des Oculars, während sich der obere Brennpunkt ausserhalb desselben und zwar in geringer Entfernung von der Augenlinse befindet. Eine Folge hiervon ist, dass man ein Huygens'sches Ocular, wenn man wie beim Mikroskopieren die Augenlinse dem Auge zukehrt, nicht als Lupe benutzen kann; es wäre ja hierzu nach § 15 erforderlich, das betreffende Object zwischen Brennpunkt und Ocular zu bringen, was natürlich bei der erwähnten Lage des unteren Brennpunktes unmöglich ist. Dahingegen ist es sehr wohl möglich ein Huygens'sches Ocular in inverser Lage als Lupe zu benutzen; in der That können auch namentlich die stärkeren Systeme in dieser Beziehung gute Dienste leisten.

Bezüglich der durch das Huygens'sche Ocular bewirkten Abbildung sei auf die in § 88 besprochene Construction verwiesen; aus der-

selben ist auch ersichtlich, dass die die Begrenzung des Gesichtsfeldes bewirkende Blendung (cf. Fig. 45, B) sich innerhalb des Oculars, in der Ebene des von der Collectivlinse entworfenen reellen Bildes befindet.

§ 113. Die Bezeichnung der verschiedenen Oculare geschieht im allgemeinen ganz willkürlich; doch entspricht bei den meisten Firmen der höheren Ocularnummer auch die stärkere Vergrösserung. Ausserdem ist die Stärke der Vergrösserung bei verschiedenen Ocularen der gleichen Firma gewöhnlich daran äusserlich zu erkennen, dass im allgemeinen die Oculare mit stärkerer Vergrösserung die kleineren Frontlinsen besitzen.

2. Das Ramsden'sche Ocular.

§ 114. Bei dem ursprünglichen Ramsden'schen Ocular wird die achromatische Vergrösserung dadurch erreicht, dass die Brennweiten der beiden dasselbe zusammensetzenden Linsen einander und auch der Entfernung der beiden Linsen gleich sind. Aus verschiedenen Gründen wird jedoch diese Beziehung in der Praxis nicht genau inne gehalten, und so betragen z. B. nach Dippel (I, 264) bei einem derartigen Oculare von Zeiss die Brennweite der Collectivlinse 39 *mm*, die der Augenlinse 35 *mm* und der Abstand derselben 22 *mm*. Es liegt dann der untere Brennpunkt des ganzen Oculars 9·8 *mm* unter dem Scheitel der Collectivlinse, der obere 11·4 *mm* über dem Scheitel der Augenlinse. Da also in diesem Falle beide Brennpunkte ausserhalb des Oculars liegen, so sind die Ramsden'schen Oculare zum Unterschiede von den Huygens'schen (cf. § 112) sowohl in normaler als auch in inverser Stellung als Lupen zu verwenden.

Aus der unter Benutzung obiger Grössen durchgeführten Construction (Fig. 58) ist ferner die von dem Ramsden'schen Ocular bewirkte Abbildung unmittelbar ersichtlich. In derselben sind die Brennpunkte der Collectivlinse mit F c und F e', die der Augenlinse mit F a und F a' und die des ganzen Oculars mit F und F c' bezeichnet. Damit nun bei der Benutzung dieses Oculares von dem vom Objectiv entworfenen reellen Bilde ein virtuelles Bild in der Entfernung der deutlichen Sehweite entsteht, ist offenbar nothwendig, dass sich dies Bild in der Nähe des Brennpunktes des Oculares (F), also ausserhalb des Oculares befindet. Nehmen wir also an, dass durch die vom Objectiv ausgehenden Strahlenkegel (a P'_1 b und c P'_2 d) das Bild $P'_1 P'_2$ gebildet wird, so erhalten wir in $P_1 P_2$ ein virtuelles Bild von dem mikroskopischen Objecte. Das ganze Ocular wirkt also wie eine einfache Lupe, mit der wie in dem Schema Fig. 47 das vom Objectiv entworfene Bild betrachtet wird. Die Austrittspupille des Oculares befindet sich natürlich in der Nähe des oberen Brennpunktes des Oculares (F c') in der Ebene E E. Die Ge-

sichtsfeldblendung (B B) fällt ferner in diesem Falle ebenfalls ganz ausserhalb des Oculars in die gleiche Ebene wie das vom Objectiv entworfene Bild $P'_1 P'_2$. In dieselbe Ebene ist nun aber ferner, wie wir in einem späteren Abschnitte noch näher erörtern werden, wenn es sich um mikroskopische Messungen handelt, das Ocularmikrometer zu bringen und es beruht eben der Vortheil des Ramsden'schen Oculares darauf, dass der Mikrometermaasstab von dem ganzen Ocular gleichmässig vergrössert wird, während bei dem Huygens'schen Ocular das Mikrometer, wie die Gesichtsfeldblendung, sich zwischen Augen- und Collectivlinse befindet und somit auch allein von der Augenlinse vergrössert wird, was u. a. mit gewissen Abbildungsfehlern verknüpft ist.

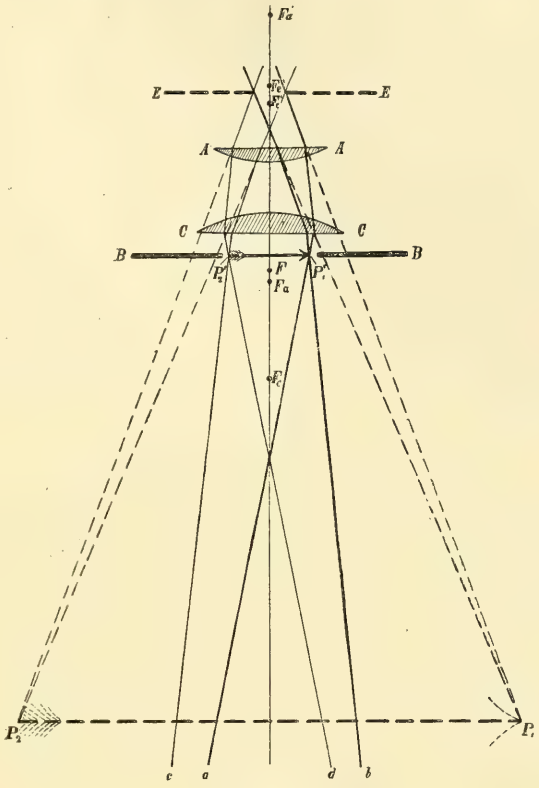


Fig. 58.

3. Die Compensationsoculare.

§ 115. Die zuerst nach Berechnungen von Abbe hergestellten Compensationsoculare verdanken ihren Namen dem Umstande, dass bei ihnen die allen stärkeren Objectiven anhaftende Ungleichheit der Vergrösserung für die verschiedenen Farben („die chromatische Differenz der Vergrösserung") durch eine entsprechende umgekehrte Correction der Oculare compensiert wird. Dass nun in der That die Compensationsoculare für Roth stärker vergrössern, als für Blau, kann man bei den stärkeren Nummern daran erkennen, dass der Oeffnungsrand des zur Begrenzung des Gesichtsfeldes unterhalb des Oculares angebrachten Diaphragmas einen röthlichen Saum besitzt. Da nun aber die apochromatischen Objective umgekehrt für Blau stärker vergrössern, erscheint

in der That das durch Combination von beiden entstehende Bild bis zum Rande vollständig farblos.

Soll nun aber das gleiche Compensationsocular mit verschiedenen Objectivsystemen benutzt werden, so müssen natürlich die letzteren die chromatische Differenz der Vergrösserung sämmtlich in dem gleichen Grade besitzen. Dies ist denn auch in der That bei den apochromatischen Objectiven der Fall, und zwar ist bei den schwächeren Systemen die gleiche chromatische Differenz der Vergrösserung, die bei den stärkeren Systemen die Construction mit sich bringt, absichtlich durch entsprechende Linsencombinationen bewirkt. Mit den gewöhnlichen Huygens'schen Ocularen geben die Apochromate also ebensowohl fehlerhafte Bilder, als die gewöhnlichen achromatischen Objective mit den Compensationsocularen. Die starken achromatischen Immersionssysteme besitzen allerdings häufig so starke chromatische Differenzen der Vergrösserung, dass bei ihnen ebenfalls die Compensationsoculare mit Vortheil verwandt werden können.

§ 116. Die specielle Construction der Compensationsoculare ist je nach der Stärke der Vergrösserung derselben eine verschiedene, und zwar befindet sich der untere Brennpunkt theils wie bei den Huygens'schen Ocularen oberhalb, theils wie bei den Ramsden'schen unterhalb der Collectivlinse. Die Lage desselben ist ja übrigens aus der Lage der in seiner Nähe befindlichen Gesichtsfeldblendung leicht zu erkennen. Bei den stärkeren Compensationsocularen älterer Construction befindet sich ferner der obere Brennpunkt des Oculars und infolge dessen auch der Augenpunkt des Mikroskops (cf. § 87) in so grosser Entfernung von der Augenlinse, dass durch eine besondere oberhalb der betreffenden Oculare angebrachte Blendung dem Auge die richtige Lage angewiesen wird.

Ein weiterer Vortheil der Zeiss'schen Compensationsoculare besteht darin, dass dieselben so berechnet sind, dass der untere Brennpunkt bei sämmtlichen Ocularen im Tubus des Mikroskops dieselbe Stelle einnimmt. Es wird dadurch ein Verschieben des Tubus beim Wechsel des Oculars überflüssig und auch die Bestimmung der Vergrösserung (s. u. § 166) bedeutend erleichtert. Erwähnen will ich in dieser Beziehung bereits hier, dass bei den Compensationsocularen die Stärke der Vergrösserung direct aus der zur Bezeichnung derselben dienenden Nummer abgelesen werden kann. So bewirkt z. B. das Compensationsocular 8 eine 8mal stärkere Vergrösserung als das Compensationsocular 1.

§ 117. Schliesslich sei noch erwähnt, dass die Compensationsoculare die Stärke der Vergrösserung nach beiden Richtungen hin innerhalb sehr weiter Grenzen zu variieren gestatten. So sind zunächst die Oculare 1 und 2, die auch wohl als Sucheroculare bezeichnet werden, wesentlich dazu bestimmt, das Durchsuchen und Einstellen der Präparate bei

den starken Vergrösserungen zu erleichtern und das namentlich bei Immersionssystemen häufig mit Unzuträglichkeiten verbundene Auswechseln der Objective für viele Fälle überflüssig zu machen. Die allerstärksten Oculare 12 und 18, von denen das letztere nach obigem eine 18mal stärkere Vergrösserung liefert als das Ocular 1, sind im allgemeinen nur bei den schwächeren Systemen mit Vortheil zu verwenden.

c) Der Beleuchtungsapparat.

§ 118. Da die Beleuchtungsart der mikroskopischen Objecte für die Beschaffenheit des Bildes von der grössten Bedeutung ist, schien es mir geboten, die zu diesem Zwecke dienenden Instrumente und deren Anwendung etwas ausführlicher zu besprechen, als dies in den zur Zeit vorliegenden Lehr- und Handbüchern der Mikroskopie zu geschehen pflegt. Uebrigens will ich mich auf die zur Beobachtung im durchfallenden Lichte angewandten Methoden beschränken, da diese in der wissenschaftlichen Mikroskopie wohl fast ausschliesslich zur Anwendung gelangen und überdies bei den Beobachtungen im auffallenden Lichte die Benutzung besonderer Apparate nicht erforderlich ist.

Zunächst sollen nun die zur Beobachtung im durchfallenden Lichte dienenden Apparate und im Anschluss an diese die verschiedenen Lichtquellen besprochen werden; im dritten Abschnitt soll sodann eine ausführliche Besprechung der Theorie und Anwendung dieser Apparate folgen. Die drei letzten Abschnitte sind der sogenannten Dunkelfeldbeleuchtung, der Fernhaltung störenden Lichtes und der Einstellung des Beleuchtungsapparates gewidmet.

1. Die Construction der Beleuchtungsapparate.

§ 119. Als Beleuchtungsapparat dient bei den kleineren Mikroskopen gewöhnlich ein Plan- und ein Hohlspiegel, die an den Rückseiten miteinander verbunden und am Mikroskop derartig befestigt sind, dass sie leicht gegeneinander ausgetauscht werden können und auch nach allen Richtungen hin drehbar sind. Auf der anderen Seite muss der Spiegel aber auch beim Loslassen in jeder ihm gegebenen Lage verbleiben. Ist dies dagegen, wie es z. B. bei alten abgenutzten Mikroskopen nicht selten vorkommt, nicht der Fall, so kann man gewöhnlich durch Anziehen der den Spiegel festhaltenden Schrauben die allzu leichte Beweglichkeit desselben vermindern.

§ 120. Ferner dienen zu der unter Umständen erforderlichen Einschränkung der vom Spiegel ausgehenden Strahlenkegel verschiedenartige Blendungen. Bei manchen Mikroskopen findet sich zu diesem Zwecke an der Unterseite des Objecttisches eine kreisförmige oder ge-

wölbte Scheibe, die eine Anzahl verschieden weiter kreisförmiger Oeffnungen besitzt. Dieselbe ist um ihren Mittelpunkt drehbar, und es ist dabei durch jedesmaliges Einschnappen einer Feder der Moment fühlbar gemacht, in dem eine der Oeffnungen eine genau centrale Lage besitzt. Es lässt sich so auch in der That ein relativ schneller Wechsel des einfallenden Lichtkegels hervorbringen.

Dennoch sind in neuerer Zeit auch bei kleineren Instrumenten die sogenannten Cylinderblendungen immer mehr zur allgemeinen Anwendung gelangt. Eine solche findet sich z. B. auch an dem in Fig. 44 p. 57 dargestellten Mikroskop. Sie besteht aus dem an der Unterseite des Objecttisches befindlichen Schlitten, der in einem federnden Cylinder den in verticaler Richtung verschiebbaren Träger (B, Fig. 44) der verschieden grossen Blendungen festhält. Diese lassen sich so bis unmittelbar unter den Objectträger heraufschieben, und es ist auch in Fig. 44 bei Bl eine mit relativ kleiner Oeffnung versehene Blendung in der Ebene des Objecttisches sichtbar.

Die verschiedenen Blendungen lassen sich so ebenfalls relativ leicht gegeneinander vertauschen. Ein besonderer Vortheil der Cylinderblendungen besteht aber darin, dass man durch allmähliches Heben und Senken des Cylinders während der Beobachtung einen ganz continuierlichen Wechsel des einfallenden Lichtkegels bewirken kann.

Bei den grösseren Apparaten geschieht denn auch die Bewegung der Cylinderblendung vielfach durch Zahn und Trieb. Dies ist z. B. auch bei dem in Fig. 46 abgebildeten Instrumente der Fall; bei diesem wird die bei B gesondert abgebildete Cylinderblendung an Stelle des bei C befindlichen Condensors gebracht und kann dann mit Hilfe der Schraube d auf- und abwärts bewegt werden.

§ 121. Eine sehr bedeutende Vergrösserung der Beleuchtungskegel lässt sich nun aber ferner mit Hilfe des von Abbe construierten und auch nach ihm benannten **Abbe'schen Beleuchtungsapparates** (cf. Fig. 59) erreichen. Bei diesem wird das vom Spiegel reflectierte Licht durch ein aus 2 oder 3 grossen Linsen bestehendes System, das Condensorsystem (Fig. 59, a und b) derartig gebrochen, dass der Lichtkegel, der auf das annähernd im Brennpunkt des Systemes befindliche Object fällt, einen möglichst grossen Oeffnungswinkel besitzt. Die von Zeiss gelieferten Linsensysteme besitzen eine Apertur von 1·2 und 1·4.

Um jedoch bei Benutzung verschieden dicker Objectträger den Brennpunkt des Condensors auf das zu beobachtende Object einstellen oder auch beliebig von demselben entfernen zu können, ist neuerdings an den meisten Abbe'schen Beleuchtungsapparaten eine verticale Verschiebung des Condensors ermöglicht. Bei dem in Fig. 59 abgebildeten Apparate ist zu diesem Zwecke die Säule O mit zahnartigen Fortsätzen

versehen, in welche entsprechende Zähne der auf der abgekehrten Seite des Apparates befindlichen und deshalb in der Figur grösstentheils verdeckten Schraube hineingreifen. Bei dem in Fig. 46 abgebildeten Mikroskope kann der Condensor mit Hilfe der Schraube d an dem bei c befindlichen Träger in verticaler Richtung verschoben werden.

Die neueren Apparate sind ferner auch vielfach mit einer Centriervorrichtung für den Condensor versehen, die namentlich bei der Mikrophotographie von Nutzen sein kann.

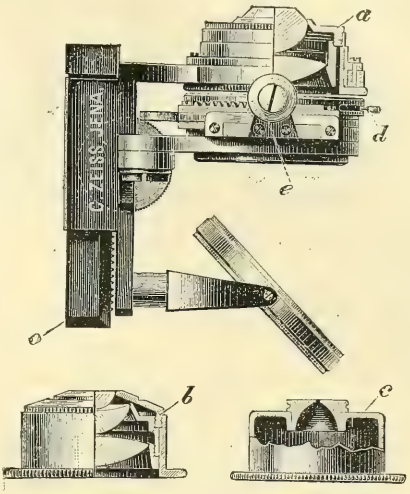


Fig. 59.

§ 122. Die Einengung des einfallenden Lichtkegels geschieht bei den älteren Formen des Abbe'schen Beleuchtungsapparates durch kreisförmige Diaphragmen, die auf den unterhalb des Condensors befindlichen Diaphragmenträger gelegt und mit Hilfe der bei e (Fig. 59) sichtbaren Schraube (cf. auch a, Fig. 46) seitlich verschoben werden können. Durch Drehung um eine verticale Achse kann ferner auch eine Drehung der Excentricität bewirkt werden.

Eine erhebliche Verbesserung hat jedoch der Abbe'sche Beleuchtungsapparat durch Einführung der sogenannten Irisblendung (Fig. 60) erfahren. Bei dieser lassen sich durch einen kleinen Griff eine Anzahl von Metallplatten derartig gegeneinander verschieben, dass eine continuierliche Erweiterung oder Verengung der nahezu kreisförmig bleibenden Oeffnung eintritt. Die Mechanik dieses Apparates soll durch die Figuren 61 und 62 erläutert werden. Fig. 61 stellt zunächst den oberen Deckel der Irisblendung von unten gesehen dar und zeigt die die Blendung begrenzenden annähernd sichelförmigen Metallplatten, von denen 2 der grösseren Deutlichkeit halber an ihren freien Enden abgebrochen gezeichnet sind. Diese Metallplatten sind nun an dem einen Ende mit kleinem Schräubchen drehbar befestigt, während sie an ihrem anderen Ende in die weiss gezeichneten recht-

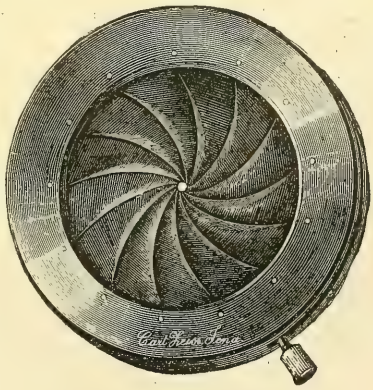


Fig. 60.

eckigen Platten auslaufen. Diesen entsprechen nun auf der in Fig. 62 dargestellten Scheibe die Unterbrechungen zwischen den am Rande derselben befindlichen Leisten. Wird also diese Scheibe mit Hilfe des bei a befindlichen Griffes innerhalb der Irisblendung gedreht, so müssen sich auch die einzelnen Metallplatten coulissenartig um ihre Befestigungspunkte drehen und somit eine Verengerung oder Erweiterung der Oeffnung bewirken.

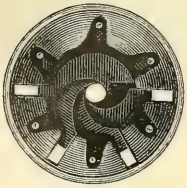


Fig. 61.

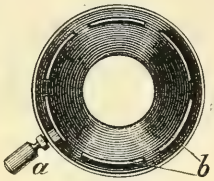


Fig. 62.

Wünschenswert ist es übrigens, dass die Irisblendung bei vollständiger Oeffnung den Oeffnungswinkel des Condensors vollkommen ausfüllt, so dass während der Beobachtung ein continuierlicher Wechsel der Beleuchtungskegel von der grösstmöglichen Ausdehnung bis zu jeder beliebigen unteren Grenze ausgeführt werden kann. Namentlich bei der Mikrophotographie kann es ferner von Nutzen sein, wenn sich an der Irisblendung, wie bei dem in Fig. 46 dargestellten Instrumente, eine die Weite der Oeffnung angebende Scala befindet (cf. Fig. 46, J).

2. Die Lichtquelle.

§ 123. Hinsichtlich der Wahl der zu benutzenden Lichtquelle ist man natürlich von der Beschaffenheit des zur Verfügung stehenden Arbeitsraumes und von der Arbeitszeit abhängig. Im allgemeinen wird man aber wohl das natürliche Tageslicht beim Mikroskopieren benutzen, und es muss dann das von einer leichten weissen Wolke reflectierte Licht als die günstigste Lichtquelle angesehen werden, während directes Sonnenlicht wohl nur in der Mikrophotographie mit Erfolg angewandt werden dürfte.

Wie im nächsten Abschnitte noch näher begründet werden soll, wird man aber vor allem dafür sorgen müssen, dass die Lichtquelle auch eine genügende Ausdehnung besitzt, um die ganze Spiegelfläche oder den ganzen Oeffnungswinkel des Condensors auszufüllen. Es wird deshalb auch nothwendig sein, dass man das Mikroskop, wenn das zur Verfügung stehende Fenster nicht eine entsprechend grosse Ausdehnung besitzt, in möglichster Nähe des Fensters aufstellt.

In vielen Fällen wird man es jedoch auch wohl nicht vermeiden können, mit **künstlichem Lichte** zu arbeiten; bei Benutzung starker Vergrösserungen bietet sogar die Anwendung desselben unter Umständen so erhebliche Vortheile, dass man auch am Tage zweckmässig zu künstlichem Lichte greifen wird.

Man kann nun zu diesem Zwecke jede beliebige hellbrennende Lampe, z. B. einen Argandbrenner oder auch eine Petroleumlampe benutzen. Am besten geeignet ist aber wohl, wenn man nicht über elektrisches Licht verfügt, das namentlich auch durch seine schön weisse Farbe ausgezeichnete Auer'sche Gasglühlicht.

In allen Fällen muss man jedoch dafür sorgen, dass die betreffende Lichtquelle einen gleichmässigen Lichtkegel von genügend grossem Oeffnungswinkel auf den Spiegel des Mikroskopes fallen lässt. Da nun aber eine starke Annäherung der Lampe an das Mikroskop mit verschiedenen Unzuträglichkeiten verbunden ist, schaltet man am besten eine grosse Linse oder eine mit Wasser gefüllte Schusterkugel oder Kochflasche derartig zwischen Mikroskop und Lampe ein, dass der ganze Mikroskopspiegel gleichmässig erhellt wird. Ich benutze zu diesem Zwecke seit Jahren mit bestem Erfolg eine Kochflasche, deren Durchmesser ca. 15 *cm* beträgt und stelle die Lampe in einem Abstande von ca. 0·5 *m* vom Mikroskop auf.

Die richtige Einstellung der verschiedenen Theile führt man in der Weise aus, dass man auf den Spiegel ein Blatt weisses Papier legt und die Lampe oder die Linse (resp. die Kochflasche) so lange verschiebt, bis die ganze Papierfläche gleichmässig erhellt ist. Da man den von der Lampe ausgehenden Beleuchtungskegel um so besser zu beobachten vermag, je dunkler die Umgebung, ist diese Einstellung natürlich am Abend oder nach vorheriger Verdunkelung des Zimmers am leichtesten auszuführen.

Eine gewisse Ausbreitung des von einer begrenzten Lichtquelle ausgehenden Lichtkegels kann man ferner auch dadurch erreichen, dass man zwischen Lampe und Spiegel oder auf dem Blendungsträger des Beleuchtungsapparates eine Fläche von Seidenpapier oder mattgeschliffenem Glas einschaltet.

§ 124. Hat man zur Beleuchtung gewöhnliches Gas- oder Petroleumlicht verwandt, so kann in vielen Fällen die stark gelbe Farbe dieses Lichtes störend wirken, namentlich dann, wenn es sich um die Beobachtung subtiler Farben handelt. In solchen Fällen schaltet man zweckmässig zwischen Spiegel und Lichtquelle eine blaue Glasplatte ein, oder man füllt die zur Strahlenausbreitung dienende Kugel anstatt mit Wasser mit einer hellblauen Lösung, etwa einer sehr verdünnten Lösung von Kupferoxydammoniak. Letztere kann man sich zweckmässig durch Vermischen von Kupfervitriol und Ammoniak und entsprechendes Verdünnen mit destilliertem Wasser herstellen.

§ 125. Schliesslich mag an dieser Stelle noch der von Koch und Wolz empfohlene Beleuchtungsapparat (Fig. 63) Erwähnung finden. Bei demselben wird das Licht einer Gas- oder Petroleumlampe

mit Hilfe eines Glasstabes (s) direct auf das zu beobachtende Object hingeleitet. Dieser Glasstab ist zu dem Zwecke derartig gebogen, dass das Licht durch totale Reflexion an den Wänden fortgeleitet wird. In der That liefert ein derartiger Glasstab, wenn sein unteres Ende unmittelbar unter den Objectträger gebracht wird, einen ziemlich gleichmässigen Beleuchtungskegel von beträchtlicher Ausdehnung, der durch Aufsetzen von Blendungen beliebig eingeschränkt werden kann. Immerhin ist dieser Strahlenkegel doch nicht so gross wie der von dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate gelieferte; auch ist der Wechsel der Blendungen bei dem Koch-Wolz'schen Apparate sehr umständlich; schliesslich dürfte der Umstand, dass eine Verschiebung des Mikroskops durch die durch den Glasstab hergestellte Verbindung mit der Lampe sehr erschwert wird, gegen die allgemeinere Benutzung dieses Beleuchtungsapparates von Bedeutung sein. Nach Ansicht des Verfassers ist derselbe wohl nur dann mit Vortheil zu verwenden, wenn es sich um die andauernde Beobachtung lebender Organismen handelt. Für diese bietet nämlich der Koch-Wolz'sche Apparat den Vortheil, dass infolge der starken Wärmeabsorption durch den Glasstab eine nur äusserst minimale Erwärmung der Objecte eintritt, während bei den anderen Beleuchtungsapparaten, wenn nicht besondere Vorsichtsmaassregeln getroffen werden, durch die zu starke Erwärmung leicht eine Tödtung empfindlicher Organismen bewirkt werden kann.

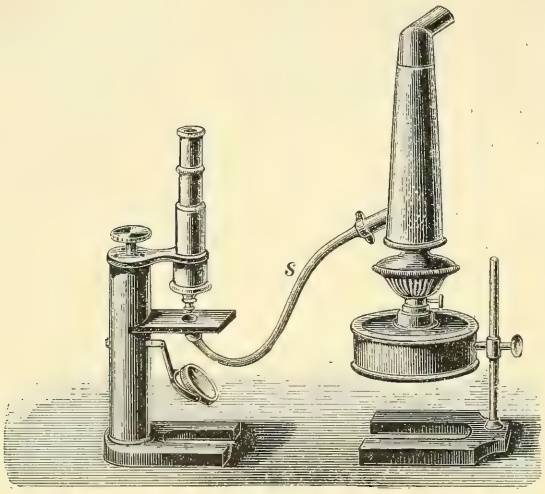


Fig. 63.

3. Theorie und Anwendung der Beleuchtungsvorrichtung.

§ 126. Wie wir § 86 sahen, werden die von verschiedenen Punkten des Objectes ($O\,O_1\,O_2$, Fig. 64) in das Objectiv des Mikroskops gelangenden Strahlenkegel durch die von diesen Punkten aus nach der Eintrittspupille ($E_1\,E_2$) des Objectivs hinzielenden Randstrahlen begrenzt. Durch den Winkel $E_1\,O\,E_2$ wird also die äusserste Grenze für den Neigungswinkel der in das betreffende System gelangenden Strahlen be-

stimmt. Ob nun aber von einer beliebigen Lichtquelle Strahlen ausgehen, die diesen Oeffnungswinkel ganz oder theilweise ausfüllen, erfahren wir offenbar, wenn wir die Strahlen $O E_1$ und $O E_2$ rückwärts bis zur Lichtquelle verfolgen. Befindet sich diese z. B. in der Ebene L L und ferner in $S_1 S_2$ ein Planspiegel, so werden die Strahlen $E_1 O$ und $E_2 O$ rückwärts verlängert den Spiegel in B und A treffen und nach der Reflexion an dem Spiegel in der Richtung A C und B D verlaufen. Soll also der Beleuchtungsapparat den Oeffnungswinkel des Objectivs vollkommen ausfüllen, so würde der Spiegel zum mindesten die Ausdehnung A B und die Lichtquelle die Ausdehnung C D besitzen müssen.

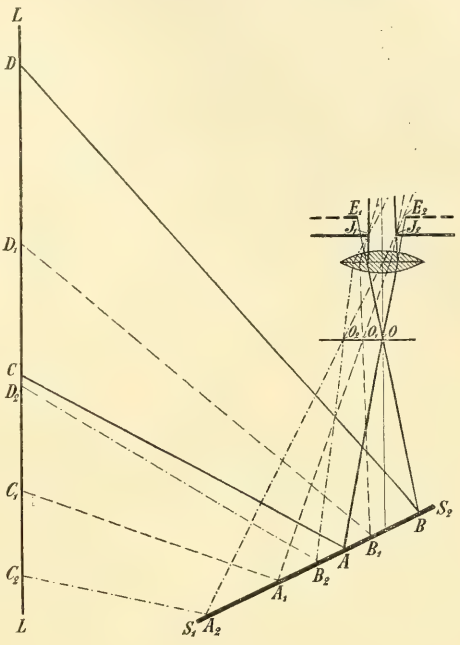


Fig. 64.

Für den praktischen Gebrauch ist es nun aber nicht nur von Wichtigkeit, dass auf den axialen Punkt (O) des zu beobachtenden Objectes ein Beleuchtungskegel von ausreichendem Oeffnungswinkel auffällt, vielmehr muss auch die vom Beleuchtungsapparat gleichmässig erhellte Fläche eine gewisse Ausdehnung besitzen. Die Grösse dieser Fläche findet man nun, wenn man für die dem axialen Punkte O benachbarten Punkte ($O_1, O_2 \ldots$) ebenfalls die obige Construction ausführt. Man würde so offenbar zu dem Resultat gelangen, dass die von O_1 aus in das betreffende Objectiv gelangenden Strahlen, nach dem Spiegel hin rückwärts verlängert, die Strahlen $O_1 A_1$ und $O_1 B_1$ ergeben, die nach der Lichtquelle fortgesetzt die Strahlen $A_1 C_1$ und $B_1 D_1$ liefern würden. Ebenso erhielten wir für den Punkt O_2 die Strahlen $O_2 A_2$ und $O_2 B_2$, resp. $A_2 C_2$ und $B_2 D_2$. Soll also die Strecke $O O_2$ mit Strahlenkegeln, die den Oeffnungswinkel des Objectivs vollkommen ausfüllen, beleuchtet werden, so muss offenbar der Spiegel die Ausdehnung $B A_2$ und die Lichtquelle die Ausdehnung $C_2 D$ besitzen.

Ebenso wie die Grösse von Spiegel und Lichtquelle können nun aber auch eingeschaltete Blendungen, Condensorlinsen und die Krümmung des Beleuchtungsspiegels auf die Grösse des Oeffnungswinkels der Beleuchtungskegel und auf die Ausdehnung des gleichmässig

beleuchteten Gesichtsfeldes von Einfluss sein, und es soll denn auch im folgenden eingehend erörtert werden, in welcher Weise die beiden genannten Grössen von den verschiedenen Theilen der Beleuchtungsvorrichtung abhängig sind. Zuvor wollen wir jedoch kurz die für die Reflexion an Spiegelflächen geltenden Gesetze besprechen.

1. Die Abbildung durch spiegelnde Flächen. § 127. Nach den Reflexionsgesetzen wird bekanntlich ein auf eine spiegelnde Fläche fallender Strahl an dieser derartig reflectiert, dass der reflectierte Strahl mit der im Einfallspunkte errichteten Senkrechten, dem „Einfallsloth“ und folglich auch mit der innerhalb der Einfallsebene senkrecht zum Einfallsloth gezogenen Tangente den gleichen Winkel bildet, wie der einfallende Strahl.

Das von einem Planspiegel entworfene Bild des Punktes O (Fig. 65) erhält man nun, wenn man die im Punkte O auf die Spiegelfläche gefällte Normale O R über die Spiegelfläche hinaus um die Strecke O R verlängert. Der Endpunkt (O′) dieser Geraden stellt dann die gesuchte Abbildung dar. Offenbar sind ja dann die Winkel O I R, O II R, O III R... gleich den Winkeln O′ I R, O′ II R, O′ III R... und es werden folglich auch die über die Spiegelfläche hinaus verlängerten Strahlen O′ I, O′ II, O′ III... mit der Spiegelfläche den gleichen Winkel bilden, wie die einfallenden Strahlen O I, O II, O III...

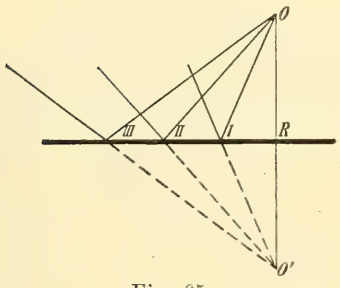


Fig. 65.

Da somit alle vom Punkte O ausgehenden Strahlen nach der Reflexion nach dem Punkte O′ convergieren, so können wir denselben als virtuellen Bildpunkt von O bezeichnen und mit demselben in der gleichen Weise operieren, wie mit den von Linsen gebildeten virtuellen Bildern.

Uebrigens ist aus Fig. 65 auch leicht ersichtlich, dass zwischen Object- und Bildpunkt eine volle Reciprocität besteht und dass wir dieselben auch gegeneinander vertauschen können. Offenbar würden ja auch alle Strahlen, die, wenn kein Spiegel dazwischen geschoben wäre, im Punkte O′ zu einem rellem Bilde vereinigt würden, nach der Reflexion im Punkte O zusammentreffen und würden hier, da eine wirkliche Strahlenvereinigung stattfindet, ebenfalls ein reelles Bild erzeugen.

§ 128. Die von einem Hohlspiegel entworfenen Bilder können wir in der gleichen Weise durch Construction ermitteln, wie dies im § 14—16 für die von Linsen entworfenen Bilder geschehen ist. Wir wollen in diesem Falle ebenfalls annehmen, dass sich der abzubildende Punkt P (Fig. 66) aus grosser Entfernung in der Richtung parallel der

Achse dem Spiegel nähert. Zur Construction der Abbildung können wir dann einerseits den der Achse parallelen Strahl $P_1 P_2 \ldots S$ benutzen; dieser geht nach der Reflexion durch den Brennpunkt F, der bei einem Hohlspiegel um den halben Radius von dem Mittelpunkte der Kugelfläche

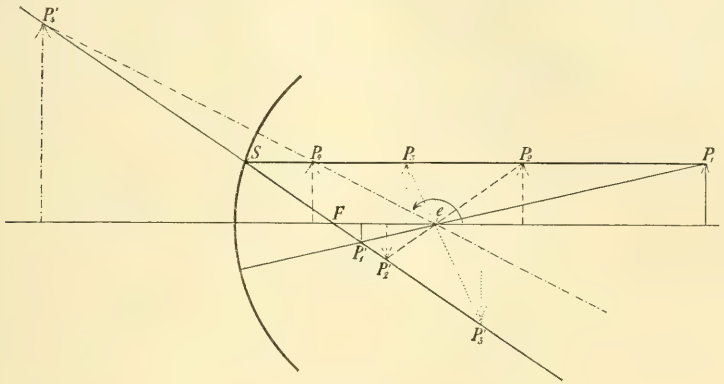


Fig. 66.

entfernt ist. Der Strahl $S F P_1' \ldots$ stellt also die Abbildung dieses Strahles dar. Als zweiten zur Bestimmung der Abbildung der Punkte $P_1 P_2 \ldots$ erforderlichen Strahl benutzen wir ferner die durch den Mittelpunkt (e) der Kugelfläche des Spiegels gehenden Strahlen, die auf die Kugelfläche offenbar unter einem rechten Winkel auffallen und somit in der gleichen Richtung reflectiert werden.

Man findet so offenbar, dass die Abbildung des am meisten von der Spiegelfläche entfernten Punktes P_1 sich in P_1' befindet, dass somit von einem sehr fernen Körper in der Nähe des Brennpunktes ein verkleinertes umgekehrtes reelles Bild entstehen muss. Rückt der Punkt aber näher an den Spiegel heran, so bewegt sich der durch den Mittelpunkt der Spiegelfläche gehende Strahl offenbar in der in der Figur durch den Pfeil angedeuteten Richtung; infolge dessen nimmt die Grösse des Bildes immer mehr zu und entfernt sich von dem Brennpunkte. So liegt offenbar die Abbildung von P_2 in P_2', während wir für den Punkt P_3 die Abbildung in P_3' und somit bereits ein vergrössertes Bild erhalten. Rückt nun aber der Punkt P über die Brennebene hinaus (nach P_4), so schneiden sich die beiden zur Construction benutzten Strahlen ($P_4 c$ und S F) überhaupt nicht auf der dem Object zugekehrten Seite des Spiegels; dieselben schneiden sich aber über den Spiegel hinaus verlängert in dem Punkte P_4'. Wir erhalten also in diesem Falle ein virtuelles Bild, und zwar ist dasselbe, wie leicht aus der Construction ersichtlich, aufrecht und umsomehr vergrössert, je näher der Punkt P dem Brennpunkte liegt.

2. Der Oeffnungswinkel der Beleuchtungsvorrichtung.

§ 129. Die Begrenzung des Oeffnungswinkels des Beleuchtungsapparates kann zunächst absichtlich durch eine eingeschaltete Blendung bewirkt werden. Es hat dies aber natürlich nur dann einen Sinn, wenn sowohl das Objectiv als auch der Spiegel und die Lichtquelle einen grösseren Oeffnungswinkel gestatten würden. Wir erhalten nun in diesem Falle den direct wirksamen Strahlenkegel, wenn wir die von dem Objectpunkte O (Fig. 67) nach dem Rande der Blendung verlaufenden Strahlen ($O B_1$ und $O B_2$) nach beiden Seiten hin verfolgen. Die Rückwärtsverlängerung dieser Strahlen nach der Lichtquelle hin würde nun zunächst ergeben, dass nur von dem durch die Punkte C und D begrenzten Theile der Lichtquelle Strahlen in das betreffende Objectiv (O) gelangen werden. Dieselben werden ferner in das Objectiv mit dem Oeffnungswinkel $G_2 O G_1 = B_1 O B_2$ eintreten und es wird das Bild ($B_1' B_2'$) der Blendung $B_1 B_2$ an Stelle der nach unserer Annahme grösseren Blendung des Objectivs ($J_1 J_2$) die Begrenzung der aus dem Objectiv austretenden Strahlen bewirken.

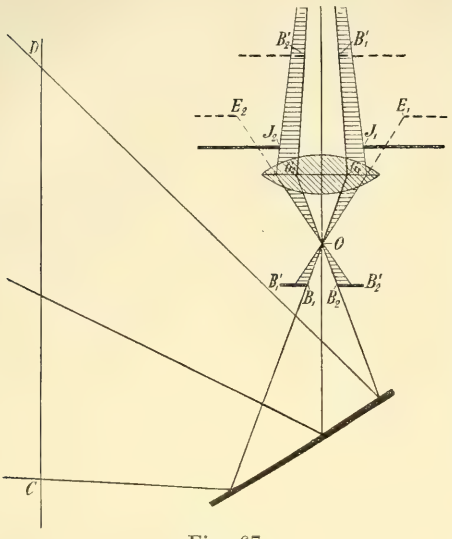


Fig. 67.

Es würde also in diesem Falle scheinbar nur ein Theil von dem Oeffnungswinkel des Objectivs in Thätigkeit gesetzt, da ja die in der Figur schraffierten Theile ($E_2 O G_2$ und $E_1 O G_1$) von dem durch die Eintrittspupille ($E_1 E_2$) des Objectivs begrenzten Strahlenkegel bei der Rückwärtsverfolgung auf den undurchsichtigen Theil der Blendung ($B_1' B_2'$) treffen. Wir haben ja aber bereits § 75 darauf hingewiesen, dass in diesem sogenannten dunklen Raum des Objectives die von den feinen Structuren des mikroskopischen Objectes erzeugten Beugungsbüschel fallen, die für die mikroskopische Abbildung von der grössten Bedeutung sind. Es wird somit begreiflich, dass man, obwohl die mikroskopische Bilderzeugung um so vollkommener ist, je grösser der Oeffnungswinkel des betreffenden Objectives, den Oeffnungswinkel des Beleuchtungskegels dennoch in vielen Fällen absichtlich durch Blendungen bedeutend unter diejenige Grenze herabdrückt, die die vollständige Ausfüllung des Oeffnungswinkels des Objectives erfordern würde.

§ 130. Gehen wir nun zu dem Falle über, dass die Strahlenbegrenzung allein durch die Grösse des Spiegels bewirkt werde, was offenbar eintritt, wenn keine Blendung eingeschaltet ist und eine unbegrenzte Lichtquelle zur Verfügung steht. In diesem Falle erhalten wir den wirksamen Strahlenkegel offenbar, indem wir den Objectpunkt mit dem Rande des Spiegels verbinden. Für die Grösse des Oeffnungswinkels ist es in diesem Falle ferner offenbar ganz gleichgiltig, ob wir einen Plan- oder Hohlspiegel verwenden; wie wir alsbald noch näher sehen werden, kommt dieser Punkt nur dann in Betracht, wenn wir die Ausdehnung der in unserem Falle als unbegrenzt angenommenen Lichtquelle mit in Rücksicht ziehen müssen.

Eine einfache Ueberlegung zeigt nun übrigens, dass in diesem Falle dem Oeffnungswinkel des Beleuchtungskegels eine gewisse Grenze gesetzt ist. Denn abgesehen davon, dass die Spiegelgrösse aus praktischen Gründen über ein gewisses Maass hinaus nicht gesteigert werden kann und dass namentlich auch der undurchsichtige Objecttisch bei allzu starker Annäherung des Spiegels den auf denselben fallenden Lichtkegel zum grössten Theil auffangen würde, müssen ja die vom Spiegel ausgehenden Strahlen beim Uebertritt in den Objectträger derartig gebrochen werden, dass sie selbst bei dem in Wirklichkeit nicht erreichbaren Oeffnungswinkel von 180° nur den doppelten Wert des Grenzwinkels zwischen Luft und Wasser (cf. § 34) betragen könnten. Will man also einen sehr grossen Beleuchtungskegel bei der Beobachtung anwenden, so kann man mit dem Spiegel allein nicht zum Ziele kommen. In diesem Falle ist die Anwendung des Abbe'schen Beleuchtungsapparates oder eines ähnlichen Condensorsystems unbedingt nothwendig.

§ 131. Bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate befindet sich, wie bereits § 121 auseinandergesetzt wurde, unmittelbar unter dem zu beobachtenden Objecte ein Linsensystem von sehr hoher Apertur. Bringt man nun, wie dies im allgemeinen bei der Benutzung des Apparates geschieht, das zu beobachtende Object (O, Fig. 68) in die Nähe des oberen Brennpunktes des Condensors (F_1), so werden offenbar die im Punkte O sich vereinigenden Strahlen vor der Brechung durch den Condensor der Achse annähernd parallel laufen, und es wird also in diesem Falle selbst zur Erzielung grosser Oeffnungswinkel kein übermässig grosser Spiegel nothwendig sein.

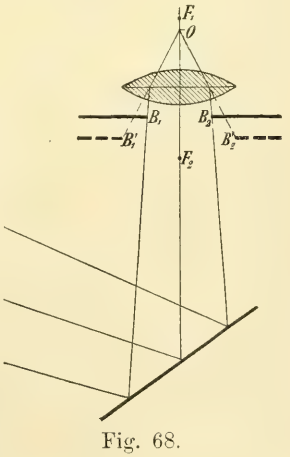


Fig. 68.

Natürlich ist aber die volle Ausnützung der hohen Aperturen des Beleuchtungsapparates nur dann möglich, wenn durch Einschal-

tung von Oel*) zwischen Condensor und Objectträger die sonst beim Uebergang der Lichtstrahlen aus dem Condensor in Luft eintretende totale Reflexion vermieden wird. Offenbar hat aber diese Einschaltung von Oel nur bei Immersionssystemen einen Sinn, da ja von Trockensystemen sowieso im günstigsten Falle nur ein dem doppelten Grenzwinkel für Glas und Luft entsprechender Strahlenkegel aufgenommen werden könnte, der von dem Abbe'schen Condensor natürlich auch ohne Einschaltung von Oel geliefert wird.

§ 132. Will man dagegen den grossen von dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate gelieferten Strahlenkegel nicht voll zur Wirksamkeit kommen lassen, so wird durch eine der bereits § 122 erwähnten Blendungen eine Begrenzung des einfallenden Strahlenkegels bewirkt. Diese Blendungen liegen bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate innerhalb der Brennweite des Condensors, und es ist die Wirkung derselben wohl an der Hand der Fig. 68 leicht verständlich. Offenbar erhalten wir den von der Blendung $B_1\ B_2$ begrenzten Strahlenkegel, wenn wir das von dem Condensor entworfene Bild der Blendung ($B_1'\ B_2'$) mit dem Punkte O verbinden.

§ 133. Schliesslich ist nun noch der Einfluss zu erörtern, den eventuell die beschränkte Ausdehnung der Lichtquelle auf die Begrenzung der Beleuchtungskegel auszuüben vermag, und zwar wird hierbei speciell zu erörtern sein, ob man bei beschränkter Lichtquelle mit dem Plan- oder Hohlspiegel, mit oder ohne Condensorsystem einen grösseren Beleuchtungskegel erhält.

Zunächst wollen wir nun den Fall ins Auge fassen, in dem zur Beleuchtung ein Spiegel ohne Condensor benutzt wird. Wir können dann die Richtung, die die durch den Oeffnungsrand der Blendung b b gehenden Strahlen O A und O B (Fig. 69) besitzen, leicht bestimmen, wenn wir das Bild construieren, welches durch den Hohl- und Planspiegel von dem Objectpunkte O entworfen wird. Das vom Planspiegel entworfene Bild liegt nun nach § 127 auf der Senkrechten O R und von dem Punkte R der Spiegelfläche gleichweit entfernt wie der Punkt O, also in O_2. Die Lage des von dem Hohlspiegel entworfenen Bildes ist natürlich von der Krümmung des Spiegels abhängig; diese ist jedoch, wie man durch Auffangen des von einem entfernten Gegenstande entworfenen Bildes mittelst Pauspapier oder dergl. leicht nachweisen kann, bei den zur Zeit in Gebrauch befindlichen Mikroskopen eine solche, dass das mikroskopische Object in der Nähe der Brennebene des Spiegels liegt. In den meisten Fällen ist wohl die Entfernung zwischen Object und Spiegel etwas kürzer

*) Am besten benützt man zu diesem Zwecke einfach das Immersionsöl; für die meisten Fälle genügt aber auch Glycerin.

als die Brennweite. Nehmen wir nun aber z. B. einmal an, dass sich der Brennpunkt des Hohlspiegels (Fig. 69) in F befindet, so würde nach § 128 der durch den Hohlspiegel von dem Punkte O entworfene Bild-

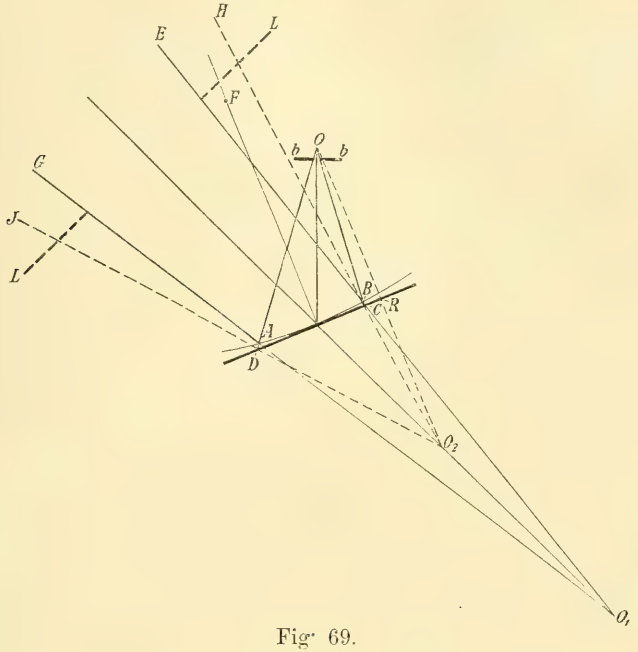


Fig. 69.

punkt in O_1 liegen und somit bedeutend mehr von der Spiegelfläche entfernt sein, als der von dem Planspiegel entworfene Bildpunkt O_2.

Aus dieser Lage der dem Objectpunkt zugeordneten Punkte folgt nun unmittelbar, dass der von dem Diaphragma b b gestattete Oeffnungswinkel A O B bei Anwendung des Hohlspiegels bereits bei geringerer Ausdehnung der Lichtquelle vollkommen ausgefüllt wird, als bei Anwendung des Planspiegels. Offenbar wird ja die zu diesem Zwecke erforderliche Ausdehnung der Lichtquelle bei dem Hohlspiegel durch den Winkel E O_1 G, bei dem Planspiegel aber durch den Winkel H O_2 J bestimmt. Würde also z. B. die Lichtquelle durch die Oeffnung des in der Ebene L L befindlichen Schirmes begrenzt, so würde bei Anwendung des Hohlspiegels allerdings der ganze Winkel A O B erhellt werden, bei Anwendung des Planspiegels aber nur ein Theil desselben.

§ 134. Ist nun aber schliesslich zwischen Spiegel und Object wie bei dem Abbe'schen Beleuchtungsapparate ein Condensorsystem eingeschaltet, dessen Brennpunkt sich in der unmittelbaren Nähe des zu beobachtenden Objectes befindet, etwa, wie in Fig. 70, dicht über demselben (in F), so werden offenbar die nach der Brechung durch den Condensor nach dem

Punkte O convergierenden Strahlen vor dieser Brechung nach dem sehr fernen Punkte O_1 hin gerichtet sein. Die betreffenden Strahlen werden ferner vor der Reflexion an dem Planspiegel nach dem ebenfalls sehr weit

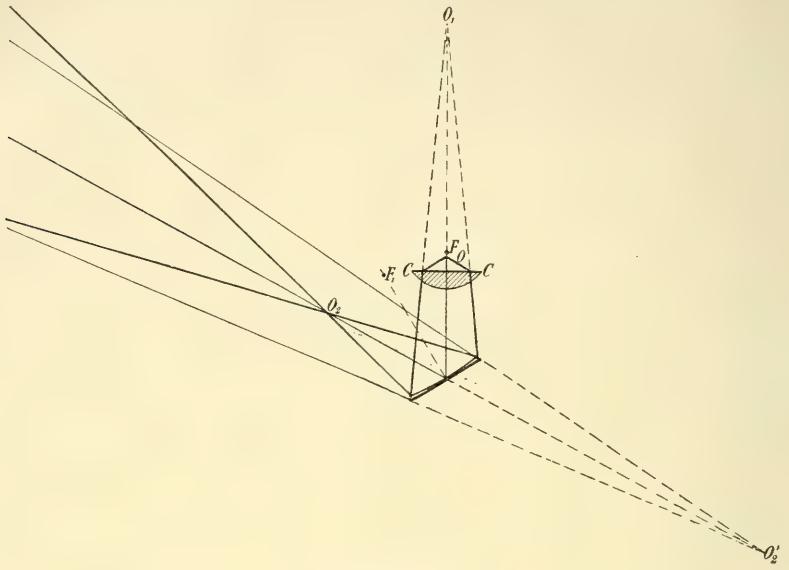


Fig. 70.

entfernten Punkte O_2' hin convergieren, während sich das von dem Hohlspiegel mit dem Brennpunkte F_1 entworfene Bild von O_1 nach § 128 in der Nähe der Brennweite in O_2 befinden würde. Es leuchtet somit wohl unmittelbar ein, dass der Hohlspiegel, wenn sich die Lichtquelle in der Nähe des Punktes O_2 befindet, zur Ausfüllung des gleichen Oeffnungswinkels eine geringere Ausdehnung der Lichtquelle erfordert als der Planspiegel. Da aber die Randstrahlen bei O_2 offenbar einen bedeutend grösseren Winkel bilden als bei O_2', so wird bei weiterer Entfernung der Lichtquelle der Hohlspiegel offenbar eine bedeutend grössere leuchtende Fläche erfordern als der Planspiegel. So besitzt ja z. B. schon am Rande der Fig. 70 der auf den Hohlspiegel auffallende Kegel eine etwas grössere Ausdehnung als der auf den Planspiegel fallende.

§ 135. Es lassen sich somit aus dem Obigen folgende für den Gebrauch des Mikroskops wichtige Regel ableiten:

Steht eine nur begrenzte Lichtquelle zur Verfügung, so erhält man bei alleiniger Anwendung des Spiegels mit dem Hohlspiegel stets einen grösseren Oeffnungswinkel als mit dem Planspiegel. Ist dagegen ein Condensor zwischen Spiegel und Object eingeschaltet (**Abbe**'scher Beleuchtungsapparat) so verdient der Hohlspiegel nur bei sehr geringer Entfernung der

Lichtquelle den Vorzug, unter gewöhnlichen Verhältnissen wird hier der Planspiegel den grösseren Oeffnungswinkel liefern.

3. Die Begrenzung des Gesichtsfeldes. § 136. Während die Grösse des Oeffnungswinkels des Beleuchtungsapparates namentlich bei Anwendung von starken Objectiven eine Rolle spielt, wird die Grösse des gleichmässig beleuchteten Gesichtsfeldes in erster Linie bei schwachen Vergrösserungen, die natürlich auch einen entsprechend grösseren Theil des Objectes gleichzeitig zu übersehen gestatten, von Bedeutung sein. In der That ist es namentlich bei sehr schwachen Vergrösserungen, wenn keine sehr ausgedehnte Lichtquelle zur Verfügung steht, häufig nicht leicht das ganze Gesichtsfeld gleichmässig zu erhellen. Wir wollen deshalb auch diesen Punkt vom theoretischen Standpunkte kurz erörtern.

Wir wollen hierbei zunächst wieder annehmen, dass die Beleuchtung ohne Condensor stattfindet. Die Beobachtung geschehe ferner mit dem Objectiv O O, Fig. 71, dessen Eintrittspupille durch $E_1 E_2$ dargestellt werde; die Objectebene befinde sich in $O_1 O_1'$, der Spiegel in $S_1 S_2$; die Begrenzung der Lichtquelle soll dagegen vorläufig unberücksichtigt bleiben, und es sind deshalb auch die vom Spiegel nach dem Objectiv hin verlaufenden Strahlen in der Figur nicht weiter rückwärts verfolgt.

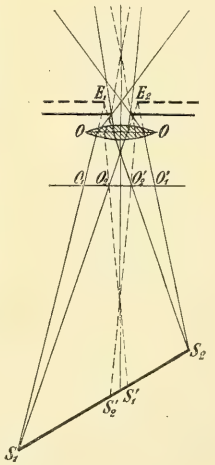


Fig. 71.

Den von einem am Spiegelrande gelegenen Punkte (S_1) in das Mikroskop gelangenden Lichtkegel erhalten wir nun offenbar, wenn wir diesen Punkt mit der Eintrittspupille ($E_1 E_2$) durch die Strahlen $S_1 E_1$ und $S_1 E_2$ verbinden. Diese Strahlen schneiden die Objectebene in den Punkten O_1 und O_2, und es wird also offenbar die zwischen diesen beiden Punkten gelegene Strecke durch von S_1 ausgehende und ins Mikroskop gelangende Strahlen beleuchtet werden. In der gleichen Weise findet man ferner, dass die zwischen O'_1 und O'_2 gelegenen Punkte durch von dem anderen Spiegelrande S_2 ausgehende Strahlen erhellt werden.

Aus der Figur ist nun ferner leicht ersichtlich, dass die Punkte O'_2 und O_2 mit dem vollen Oeffnungswinkel des Objectivs beleuchtet werden. Die von denselben aus ins Mikroskop gelangenden Strahlenkegel besitzen offenbar die Oeffnungswinkel $E_1 O_2 E_2$ und $E_1 O'_2 E_2$ und werden durch die Spiegelflächen $S_1 S'_1$ und $S'_2 S_2$ beleuchtet. Ebenso werden nun offenbar auch alle zwischen O_2 und O_2' gelegenen Punkte mit dem vollen Oeffnungswinkel des Mikroskopes beleuchtet sein. Für die ausserhalb dieser Strecke gelegenen Punkte wird dagegen bei der angenommenen

Spiegelgrösse nur ein Theil des Oeffnungswinkels des Objectivs von dem Beleuchtungskegel ausgefüllt. So würde z. B. die Verbindungslinie von E_2 mit einem zwischen O_1 und O_2 liegenden Punkte die Ebene des Spiegels jenseits S_1 schneiden, und es würde somit auch nur ein Theil des Oeffnungswinkels des Objectivs bei der Rückwärtsverlängerung auf den Spiegel fallen. Wir erhalten somit unter obiger Annahme zwischen $O_2 O_2'$ ein gleichmässig helles Gesichtsfeld, während nach beiden Seiten hin eine allmähliche Abnahme der Helligkeit stattfindet.

§ 137. Aus der Fig. 71 ist nun ferner ersichtlich, dass die Grösse des gleichmässig beleuchteten Gesichtsfeldes lediglich von der Grösse und Entfernung des Spiegels abhängig ist, dass es dagegen gleichgiltig ist, ob wir einen Hohl- oder Planspiegel anwenden. Allerdings haben wir dabei die Voraussetzung gemacht, dass eine unbegrenzte Lichtquelle zur Verfügung stünde und wir wollen nun sehen, wie sich die Sache verhält, wenn auch die Beschränkung der Lichtquelle mit in Rücksicht gezogen wird. Wir können dies offenbar in der Weise ausführen, dass wir die von den verschiedenen Objectpunkten ausgehenden Strahlenkegel nach der Reflexion an dem Plan- oder Hohlspiegel rückwärts verfolgen und untersuchen, welcher derselben eine grössere Lichtquelle voraussetzt.

§ 138. Offenbar könnten wir bei diesen Betrachtungen ähnlich wie im § 133 von den Bildern der Punkte O_1, O_2, Fig. 64, ausgehen und durch eine ähnliche Construction wie Fig. 69 die Abhängigkeit der Grösse des Gesichtsfeldes von der Ausdehnung der Lichtquelle ermitteln. Man würde so in der That finden, dass der Planspiegel im allgemeinen ein grösseres Gesichtsfeld liefert als der Hohlspiegel.

Besonders zu beachten ist übrigens in dieser Beziehung, dass der Hohlspiegel in grosser Nähe der Objectebene ein reelles Bild von der Lichtquelle erzeugt, das bei schwacher Vergrösserung gleichzeitig mit dem mikroskopischen Bilde deutlich sichtbar ist und somit, wenn keine grossen gleichmässig hellen Flächen zur Verfügung stehen, unter Umständen sehr störend wirken kann.

In höherem Grade ist dies bei der Anwendung des Abbe'schen Beleuchtungsapparates der Fall, der, wie man leicht direct beobachten kann, ein noch dazu stark verkleinertes Bild der Lichtquelle in der Nähe des mikroskopischen Objectes entwirft. Uebrigens erhält man in diesem Falle immerhin mit dem Hohlspiegel im allgemeinen noch bessere Bilder als mit dem Planspiegel.

Als Regel lässt sich somit aus Obigen ableiten, dass man dann, wenn es sich um ein grosses Gesichtsfeld handelt, was im allgemeinen nur bei sehr schwachen Vergrösserungen vorkommt, besser thut ohne **Abbe**'schen Condensor und unter Anwendung eines Planspiegels zu beobachten.

4. Die Dunkelfeldbeleuchtung.

§ 139. Bei der sogenannten Dunkelfeldbeleuchtung erscheinen die im Präparat befindlichen Objecte hell auf dunklem Grunde, was z. B. bei der Auffindung und Verfolgung kleiner Organismen oder dergl. vielfach von Vortheil sein kann. Ferner kann die Dunkelfeldbeleuchtung auch bei der Mikrophotographie in manchen Fällen gute Dienste leisten.

Das Princip der Dunkelfeldbeleuchtung beruht darauf, dass alle Strahlen, die von dem betreffenden Objective aufgenommen werden, durch eine der Oeffnung desselben entsprechende Blendung vollständig abgeblendet werden, während die zu beobachtenden Objecte mit einer im Querschnitte ringförmigen Strahlenzone von grösserem Oeffnungswinkel beleuchtet werden. Das Gesichtsfeld erscheint bei dieser Beleuchtungsart offenbar vollkommen dunkel, dahingegen werden alle diejenigen Körper, die die seitlich einfallenden Lichtstrahlen durch Brechung oder auch durch Beugung derartig aus ihrer ursprünglichen Richtung ablenken, dass sie von dem Objectiv aufgenommen werden, hell aufleuchten. Ausserdem kann eine allerdings im allgemeinen wohl nur schwache Beleuchtung von Objecten mit abweichendem Brechungsindex dadurch hervorgerufen werden, dass die an der Oberfläche des Deckgläschens total reflectierten Strahlen nach abermaliger Reflexion an den betreffenden Objecten in das Objectiv des Mikroskops gelangen.

Man erhält nun die Dunkelfeldbeleuchtung am besten mit Hilfe des Abbe'schen Beleuchtungsapparates, indem man auf den Blendungsträger eine sogenannte Centralblendung bringt, die die in Fig. 72 abgebildete Gestalt besitzt. Bei den Systemen mit grösserem Oeffnungswinkel muss man dann aber noch durch Blendungen, die über der obersten Linse der betreffenden Objective eingeschaltet werden und von der optischen Werkstätte von Zeiss dem Beleuchtungsapparate beigefügt werden, den Oeffnungswinkel dieser Objective künstlich verkleinern.

Fig. 72.

§ 140. Zur Erläuterung des bei der Dunkelfeldbeleuchtung stattfindenden Strahlenganges mag Fig. 73 dienen. In derselben stellt O das Objectiv dar, dessen gewöhnliche oder nachträglich eingefügte Blendung sich in J J befinden mag, so dass durch das Bild derselben, die Eintrittspupille ($E_1 E_2$), die Begrenzung der das Objectiv durchsetzenden Strahlen bewirkt wird. Als Condensor diene ferner die Linse C; die Centralblendung B B sei ferner so gestaltet, dass sie nur die zwischen B_3 und B_1, resp. B_2 und B_4 gelegenen Lichtstrahlen durchlässt. Von dem vom Spiegel $S S_1$ ausgehenden Strahlenkegel werden somit auf den Punkt O nur in den zwischen den Punkten B_1 und B_3 (resp. B_2 und B_4) gelegenen Richtungen Strahlen gelangen können. Diese werden nun aber wie aus der

Figur ersichtlich ist, durch die Blendung des Objectivs sämmtlich aufgefangen, so dass also von dem Punkte O überhaupt kein Licht ins Mikroskop gelangt. Die Folge hiervon ist offenbar, dass das gesammte Gesichtsfeld des Mikroskops dunkel erscheint. Befindet sich nun aber in O ein die schief einfallenden Strahlen nach der Achse zu ablenkender Körper, so wird derselbe bewirken, dass nun vom Punkte O aus Strahlen ins Mikroskop gelangen, derselbe erscheint dann also hell auf dunklem Grunde.

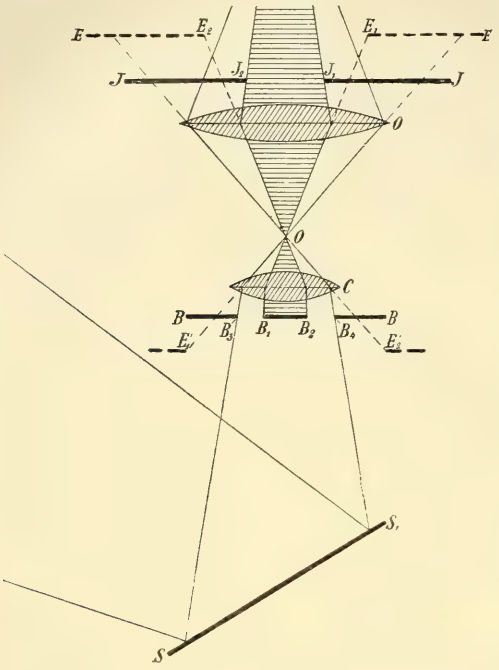


Fig. 73.

Namentlich bei schwachen Vergrösserungen kann man die Dunkelfeldbeleuchtung übrigens auch ohne Abbe'schen Beleuchtungsapparat in der Weise erhalten, dass man den Beleuchtungsspiegel so schräg stellt, dass ebenfalls direct in das betreffende Objectiv kein Licht hineingelangt.

5. Die Fernhaltung störenden Lichtes.

§ 141. Bei verschiedenartigen Untersuchungen kann es der Beobachtung sehr hinderlich sein, wenn das auf dem Objecttisch befindliche Object auch von obenher durch auffallendes Licht beleuchtet wird oder wenn das Auge des Beobachters seitlich von Licht getroffen wird. Um nun diesem Uebelstande abzuhelfen, haben Flögel und Engelmann (III, 577) die Benutzung eines grossen Dunkelkastens anempfohlen, der nur durch eine in der Vorderwand befindliche trichterförmige Oeffnung Licht empfängt und das Mikroskop nebst Zubehör, sowie den Oberkörper des Beobachters ganz aufzunehmen vermag. In der That wird eine derartige Vorrichtung bei sehr subtilen Untersuchungen und namentlich dann, wenn es sich um den Einfluss des Lichtes auf lebende Organismen handelt, sehr gute Dienste zu leisten imstande sein.

Für die meisten mikroskopischen Beobachtungen dürfte aber auch ein vor dem Mikroskop aufgestellter Schirm, der nur für den Spiegel

des Mikroskops eine entsprechende Oeffnung besitzt, zur Fernhaltung störenden Lichtes völlig ausreichen. Bei vielen Untersuchungen ist gewiss auch der von Schiefferdecker (I, 180) vorgeschlagene Mikroskopier-

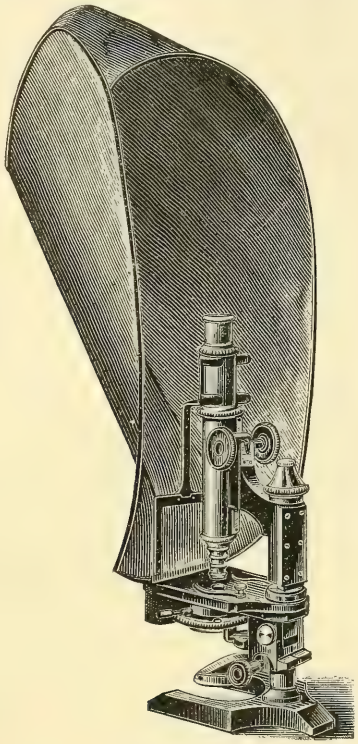


Fig. 74.

schirm (cf. Fig. 74) mit Vortheil zu verwenden. Derselbe besteht, wie wohl aus der Figur hinreichend ersichtlich ist, im wesentlichen aus einem Gestell aus dünnem federnden Draht, das mit schwarzem Shirting überzogen ist.

6. Die Einstellung des Beleuchtungsapparates und die Wahl des Oeffnungswinkels.

§ 142. Bei der Einstellung des Beleuchtungsapparates hat man vor allem dafür zu sorgen, dass der gesammte Oeffnungswinkel desselben von möglichst gleichmässig hellem Lichte erfüllt ist. Davon, ob dies der Fall ist, kann man sich nun leicht überzeugen, wenn man nach Entfernung des Oculars von oben in den Tubus hineinsieht. Man beobachtet dann in geringer Entfernung vom Objectiv ein deutliches Bild der Lichtquelle und kann z. B., falls man mit natürlichem Licht arbeitet, leicht feststellen, wenn ein grösserer Theil des Gesichtsfeldes von einem Fenster-

kreuze, einer dunklen Wolke oder dergl. eingenommen wird. Da man somit in dieser Weise deutlich sieht, worauf man den Beleuchtungsapparat eingestellt hat, so ist es relativ leicht, die günstigste Spiegelstellung zu finden, und man kommt in dieser Weise jedenfalls schneller und sicherer zum Ziele, als wenn man, ohne das Ocular zu entfernen, durch einfaches Herumprobieren die richtigste Spiegelstellung aufsuchen wollte.

Auf die Frage, welcher Oeffnungswinkel des Beleuchtungskegels für die verschiedenen Objecte der günstigste ist, lässt sich eine für alle Fälle giltige Antwort nicht geben. Im allgemeinen wird man auch jedenfalls gut thun, wichtigere Präparate bei verschiedener Beleuchtung zu betrachten, was ja namentlich, wenn man über eine Irisblendung verfügt, in äusserst kurzer Zeit geschehen kann.

Als Regel ist ferner festzuhalten, dass man Präparate, bei denen es auf die Beobachtung von Farben ankommt, im allgemeinen am besten mit möglichst grossem Oeffnungswinkel beobachtet, vorausgesetzt natürlich, dass das zur Verfügung stehende Objectiv auch bei einem derartig grossen Oeffnungswinkel noch eine exacte Abbildung bewirkt. Die vortheilhafte Wirkung des grossen Oeffnungswinkels beruht in diesem Falle darauf, dass die auf Lichtbrechungsdifferenzen beruhenden scharfen Contouren mit der Zunahme des Oeffnungswinkels immer mehr verschwinden, so dass dann die Farben immer deutlicher hervortreten.

Aus dem gleichen Grunde wird man auch ungefärbte, resp. farblose Präparate, bei denen es gerade darauf ankommt, die durch Brechungsunterschiede bewirkten Umgrenzungslinien der verschiedenen Körper oder feinere Structuren, wie Schichtung und Streifung, deutlich zu sehen, in den meisten Fällen gerade umgekehrt mit relativ kleinen Oeffnungswinkeln beobachten. Uebrigens wird man auch hier zweckmässig nicht unter ein gewisses Maass herabgehen. In § 82 wurde ja auch bereits nachgewiesen, dass viele feinen Structuren, die man bei centraler Beleuchtung mit einem Strahlenkegel von geringer Ausdehnung nicht aufzulösen vermag, bei grossem Oeffnungswinkel des Beleuchtungsapparates deutlich wahrgenommen werden können.

d) Das Stativ.

§ 143. Während namentlich von englischen Fabrikanten dem Stativ des Mikroskops, die verschiedenartigsten Formen gegeben wurden, hat sich bei den deutschen Firmen immer mehr eine im wesentlichen gleichartige Construction desselben Bahn gebrochen, die auch wohl am besten allen an dasselbe zu stellenden Anforderungen genügen dürfte. Auch die

Ausführung des mechanischen Theiles des Mikroskops ist bei den besseren Firmen zur Zeit eine so exacte, dass in dieser Beziehung wohl selten ein Grund zu Klagen vorhanden sein dürfte. So scheint es mir denn auch überflüssig, die einzelnen Theile des Statives und die diesbezüglichen mehr oder weniger unwichtigen Differenzen eingehend zu besprechen. Vielmehr will ich mich hier auf die kurze Behandlung einiger speciell für die mikroskopische Praxis wichtiger Punkte beschränken.

1. Die Einstellungsvorrichtung.

§ 144. Die grobe Einstellung geschieht bei den kleineren Stativen (cf. Fig. 44) gewöhnlich einfach durch Verschiebung des in einer federnden Hülse steckenden Tubus, während dieselbe bei den grösseren Stativen (cf. Fig. 46, T) in der Regel durch Zahn und Trieb bewirkt wird, was ja auch in der That bedeutend bequemer und sicherer ist. Uebrigens ist zu beachten, dass man bei denjenigen Stativen, bei denen die grobe Einstellung des Tubus durch Verschiebung desselben in seiner Hülse bewirkt wird, den Tubus nicht einfach vertical auf- oder abwärts bewegen darf; vielmehr erreicht man dadurch eine viel allmählichere Verticalbewegung, dass man den Tubus unter schraubenartiger Drehung auf- oder abwärts bewegt.

Die feinere Einstellung wird wohl zur Zeit nur noch in Ausnahmefällen und bei sehr kleinen Instrumenten durch eine unter dem Objecttisch befindliche Schraube bewirkt, die ein directes Heben und Senken des zu beobachtenden Objectes gestattet. Bei den zu wissenschaftlichen Untersuchungen bestimmten Instrumenten wird die feinere Einstellung dagegen wohl ausnahmslos durch ein entsprechendes Heben oder Senken des Mikroskoptubus erreicht: dasselbe wird durch eine feine Mikrometerschraube bewirkt, die sich im allgemeinen in der Säule (S, Fig. 44) des Mikroskops befindet. Die Mikroskope der verschiedenen Werkstätten zeigen übrigens in dieser Beziehung, wie hier nicht näher auseinandergesetzt werden kann, sehr weitgehende Verschiedenheiten.

§ 145. Um nun bei der Einstellung des Mikroskops ein Aufstossen des Objectives auf das Präparat zu vermeiden, das natürlich leicht eine Zertrümmerung des zu beobachtenden Objectes und auch eine Verletzung des Objectives bewirken könnte, wird von verschiedenen Autoren empfohlen den Tubus zunächst bis dicht auf das betreffende Präparat hinabzusenken — jedenfalls tiefer, als es das betreffende Objectiv erfordert, — und dann erst, während man in den Tubus hineinsieht, denselben mit der groben Einstellung und der Mikrometerschraube richtig einzustellen. Da hierzu dann nur ein Heben des Tubus erforderlich ist, so ist natürlich ein Aufstossen auf das Präparat ausgeschlossen, das dagegen leicht ein-

treten könnte, wenn man den Tubus senkt, während man in denselben hineinblickt, so dass man also das Präparat nicht gleichzeitig im Auge haben kann.

§ 146. Speciell für den Anfänger sei schliesslich noch besonders hervorgehoben, dass er sich davor hüten muss, die Mikrometerschraube, wenn sie am oberen oder unteren Ende anstösst, mit Gewalt weiter schrauben zu wollen. Er wird jedenfalls gut thun, sich jedesmal, wenn er irgend ein Hindernis in der Bewegung der Mikrometerschraube fühlt, davon zu überzeugen, ob dieselbe auch noch nach beiden Seiten freien Spielraum hat.

2. Der Tubus.

§ 147. Durch die Länge des zur Aufnahme von Objectiv und Ocular dienenden Tubus wird natürlich der Abstand zwischen diesen beiden Systemen bestimmt, und es lässt sich durch Variierung derselben namentlich auch eine verschiedene Vergrösserung des Mikroskops erzielen.

Ferner ist die Tubuslänge besonders bei starken Systemen insofern von Bedeutung, als die § 44—53 besprochenen Abbildungsfehler (sphärische und chromatische Aberration etc.) nur bei einem ganz bestimmten Objectabstande am besten corrigiert sind. Aus diesem Grunde ist denn auch neuerdings auf den stärkeren Objectiven vielfach direct diejenige Tubuslänge angegeben, bei welcher das betreffende System die am besten corrigierten Bilder liefert.

Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Ausdruck „Tubuslänge" von den verschiedenen Optikern keineswegs immer in dem gleichen Sinne gebraucht wurde; zur Zeit definiert man dieselbe allerdings gewöhnlich als die Entfernung zwischen dem oberen und unteren Rande der Mikroskopröhre, also die Strecke a b bei dem in Fig. 45 schematisch dargestellten Tubus. Bei den auf dem Continent üblichen Mikroskopen beträgt diese Entfernung gewöhnlich 160 *mm*, während in England in der Regel ein bedeutend längerer Tubus von 250 *mm* in Gebrauch ist. In Amerika wurde dagegen für den längeren Tubus die Länge von 216 *mm* empfohlen (cf. Gage I, 10).

§ 148. Während nun bei den kleineren Mikroskopen der Tubus gewöhnlich einfach diejenige Länge besitzt, bei der die Systeme des betreffenden Lieferanten die beste Correction zeigen, sind die grösseren Mikroskope häufig mit einem ausziehbaren Tubus versehen, der also eine Variierung der Tubuslänge gestattet. In diesem Falle befindet sich neuerdings an dem ausziehbaren Rohre gewöhnlich eine Scala (cf. Fig. 46, A), die die jedesmalige Tubuslänge direct abzulesen gestattet. Uebrigens muss man bei Anwendung eines Revolvers beachten, dass dieser natürlich eine Verlängerung der Tubuslänge bewirkt. Man muss

offenbar diese Strecke, die man ja leicht ausmessen kann, zu der am Tubus abgelesenen Tubuslänge hinzuaddieren.

§ 149. Erwähnen will ich schliesslich noch, dass man als optische oder reducierte Tubuslänge vielfach die Entfernung zwischen den dem Inneren des Tubus zugekehrten Brennpunkten des Ocjectives und des Oculars (die Strecke Fb—Fr, Fig. 45) bezeichnet hat. Diese Grösse spielt namentlich bei der Berechnung der Vergrösserung des Mikroskops eine Rolle.

3. Der drehbare Objecttisch.

§ 150. Da es bei vielen Untersuchungen wünschenswert ist, das mikroskopische Object, ohne es aus den Augen zu verlieren, unter dem Mikroskop um eine verticale Achse drehen zu können, findet sich an vielen Mikroskopen ein sogenannter drehbarer Objecttisch; ein solcher ist z. B. auch an dem in Fig. 107 abgebildeten Mikroskop sichtbar. Da nun aber die einzelnen Theile des mikroskopischen Apparates nur selten für alle Objective gleich vollkommen centriert sind, so ist namentlich bei stärkeren Objectiven eine Centrierung des drehbaren Objecttisches nothwendig. Diese geschah nun früher gewöhnlich durch zwei am Objecttisch befindliche Schrauben; neuerdings wird die Centrierung aber auch vielfach am Objectiv ausgeführt, so z. B. bei dem in Fig. 107 dargestellten Mikroskop, bei dem dieselbe durch die beiden bei c c sichtbaren Schrauben bewirkt wird.

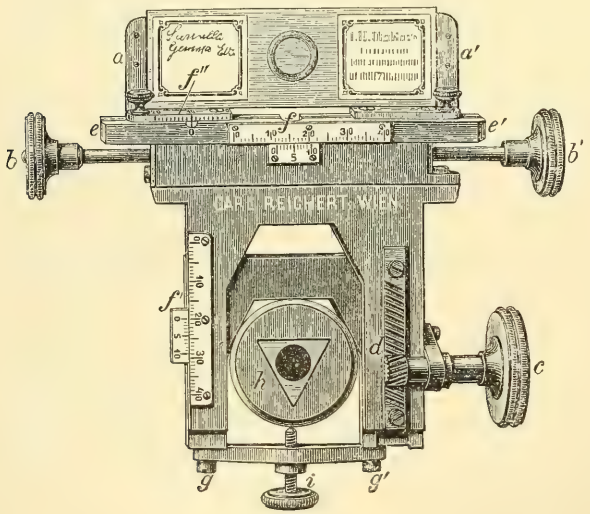
§ 151. Um diese Centrierung ganz überflüssig zu machen, war übrigens früher mehrfach — so namentlich auch an den meisten grösseren Zeiss'schen Stativen — der ganze obere Theil des Mikroskops, also Objecttisch incl. Tubus, um eine verticale Achse, die mit der Achse des Tubus zusammenfiel, drehbar. Es kann bei dieser Art der Construction natürlich das Object während der Drehung nicht aus dem Gesichtsfelde verschwinden. Uebrigens ist dieselbe doch einer viel weniger allgemeinen Anwendung fähig und vermag namentlich bei Untersuchungen im polarisierten Lichte den drehbaren Objecttisch nicht zu ersetzen.

4. Der bewegliche Objecttisch (Finder).

§ 152. Während man sich erfahrungsgemäss sehr leicht daran gewöhnt, die Verschiebungen des mikroskopischen Präparats, die ja im mikroskopischen Bilde infolge der Bildumkehrung stets nach entgegengesetzter Richtung stattzufinden scheinen, in der richtigen Weise auszuführen, und es auch bei einiger Uebung nicht schwer fällt eine genauer zu prüfende Stelle in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen, kann es doch vielfach — so z. B. beim Durchsuchen von Bacterienpräparaten,

Serienschnitten etc. — von grossem Nutzen sein, die Verschiebung des Präparates rein mechanisch mit Hilfe eines nach vorn und hinten und nach rechts und links hin beweglichen Objecttisches ausführen zu können. So haben denn auch in neuerer Zeit die meisten Mikroskopfirmen derartige bewegliche Objecttische construiert, die zum Theil einfach auf den gewöhnlichen Objecttisch aufgesetzt werden und somit auch an jedem beliebigen älteren Mikroskop angebracht werden können. Damit nun übrigens die volle Ausnützung des Abbe'schen Beleuchtungsapparates nicht beeinträchtigt wird, ist es dringend wünschenswert, dass das zu beobachtende Präparat sich auch nach Anbringung des betreffenden Objecttisches dicht über dem Condensorsystem befindet, was ja auch in der That bei den meisten neueren Apparaten dieser Art der Fall ist.

§ 153. Von den verschiedenen im wesentlichen auf dem gleichen Princip beruhenden Constructionsformen erwähne ich nun zuerst den an jedem beliebigen grösseren Stativ anzubringenden beweglichen Objecttisch von C. Reichert, der von Fleischl von Marxow (I) zuerst beschrieben wurde und in Fig. 75 dargestellt ist. Um denselben zunächst an dem Mikroskop anzubringen, wird die am unteren Ende befindliche um g' drehbare Querleiste zurückgeschlagen und der Apparat dann so von vorne über die Säule des Stativs (h) hinübergeschoben, dass diese, wie in der Figur dargestellt, in den entsprechenden Einschnitt zu liegen kommt. Dann wird die Querleiste wieder zurückgedreht und der Apparat mit Hilfe der Schraube i befestigt. Zur Befestigung des Präparates dienen ferner die beiden in der Querschiene e e' verschiebbaren Arme a und a', die übrigens auf der dem Präparat zugekehrten Seite kleine vorspringende Kautschukleistchen besitzen, so dass die Berührung zwischen Glas und Metall vermieden wird. Zur Bewegung des Präparates dient einerseits die Schraube b b', die die Verschiebung von rechts nach links bewirkt, und andererseits die Schraube c, die das Präparat von vorn nach hinten bewegt. An



Ffg. 75.

den beiden bei f und f' befindlichen Scalen ist schliesslich die Grösse der jedesmaligen Verschiebung direct zu ersehen.

Diese Scalen befähigen nun übrigens den beweglichen Objecttisch gleichzeitig noch zu einer anderen Anwendung. Namentlich bei Präparaten von direct nicht sichtbaren Objecten, z. B. Bacterien, ist es nämlich vielfach von Wert, eine ganz bestimmte Stelle des Präparats, die vielleicht gerade irgendeine Besonderheit zeigt, schnell und sicher wiederzufinden. Hat man nun zu diesem Zwecke nach Einstellung einer derartigen Stelle des Präparates den Stand der beiden Scalen (f und f') notiert, so ist es offenbar leicht möglich, das Präparat jederzeit wieder in die alte Lage zurückzubringen. Es ist hierbei nur noch nöthig, dass

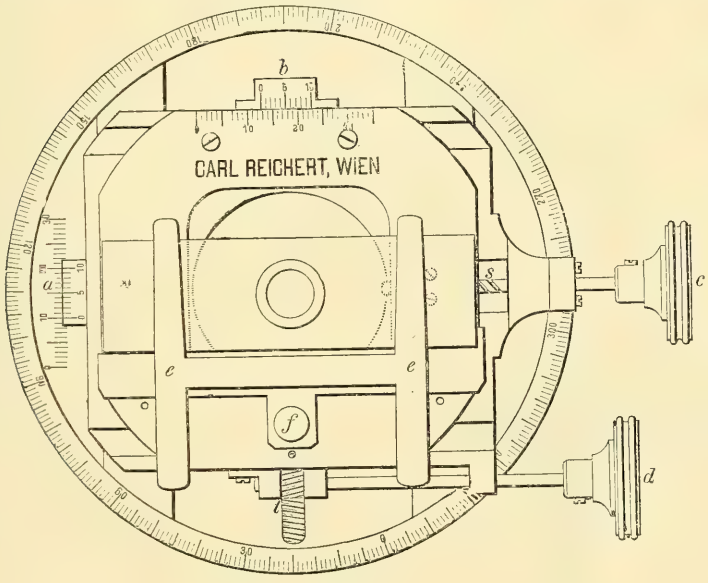


Fig. 76.

auch die beiden Arme a und a' wieder die gleiche Lage haben wie zuvor. Es befindet sich zu diesem Zwecke an dem Arme a bei f'' eine dritte Scala, deren Einstellung ebenfalls zu notieren ist. Dieser seiner zweiten Function entsprechend wird der bewegliche Objecttisch auch wohl als „Finder" bezeichnet.

§ 154. In neuerer Zeit wurde nun übrigens der bewegliche Objecttisch auch vielfach so construiert, dass er auf dem drehbaren Objecttische angebracht werden kann. Einen solchen ebenfalls von C. Reichert herrührenden Apparat, der übrigens nur an den grössten Stativen zu verwenden ist, stellt Fig. 76 dar. Bei demselben wird das Präparat durch den mit der Schraube f auf dem Objectisch befestigten Objecthalter e

festgehalten. Die Bewegung desselben geschieht, wie wohl aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, mit Hilfe der Schraubenköpfe c und d. Um gleichzeitig als „Finder" functionieren zu können, ist der Apparat schliesslich bei a und b mit Längstheilung und Nonius versehen.

5. Stative zu besonderen Zwecken.

§ 155. Zu nennen sind an dieser Stelle in erster Linie diejenigen Arten von Stativen, die zur Demonstration der mikroskopischen Präparate dienen. Es gehören hierher zunächst die sogenannten Projections- oder Bildmikroskope, durch die, wie bei der Mikrophotographie (s. u.), ein reelles Bild von den mikroskopischen Objecten entworfen wird. Die eigentlichen Demonstrations- oder Handmikroskope, die namentlich zum Herumgeben in Hörsälen etc. bestimmt sind, sind ferner dadurch ausgezeichnet, dass sie bei der Beobachtung einfach gegen das Licht gehalten werden und meist auch mit einer einfacheren Einstellvorrichtung versehen sind. Schliesslich wurden auch sogenannte multoculare Mikroskope construiert, die mehreren Beobachtern gleichzeitig die Beobachtung ein und desselben mikroskopischen Präparates gestatten. Da übrigens alle diese Apparate bei den in diesem Buche in erster Linie berücksichtigten wissenschaftlichen Untersuchungen nicht in Betracht kommen und überdies in ihrer Anwendungsweise leicht zu verstehen sind, so verzichte ich darauf, auf dieselben hier näher einzugehen.

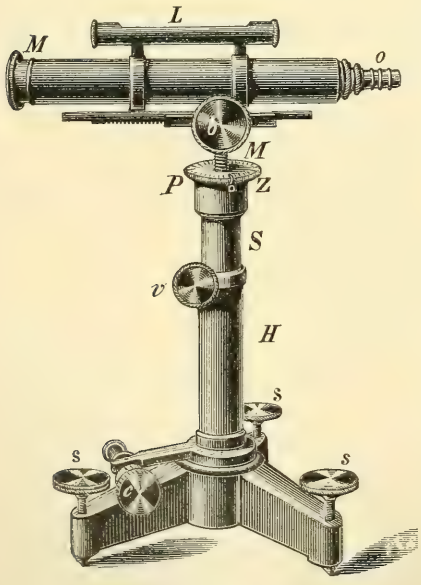


Fig. 77.

§ 156. Dahingegen scheint mir eine etwas ausführlichere Besprechung der mit horizontalem oder um eine horizontale Achse drehbarem Tubus versehenen Mikroskope geboten. Am meisten empfehlenswert scheint mir von den derartigen Apparaten das von Albrecht in Tübingen angefertigte Instrument (cf. Fig. 77). Dasselbe ist wie das zuerst von Sachs (cf. Vines I, 134) benutzte ähnliche Horizontalmikroskop in erster Linie zur Messung von in die Lothlinse fallenden Dimensionen, namentlich zu Wachsthumsmessungen, bestimmt. In diesem Falle wird zunächst mit Hilfe der drei am Fusse des Instrumentes befindlichen

Schrauben (s) der Tubus horizontal eingestellt, wobei die über demselben befindliche Libelle (L) zur Controle dient. Eine gröbere verticale Verschiebung wird sodann dadurch erreicht, dass die den Tubus tragende Säule (S) in der mit dem schweren Fuss in Verbindung stehenden Hülse (H) verschiebbar ist; um die Säule sodann nach der groben Einstellung in der richtigen Lage festzuhalten wird die Schraube (v) angezogen. Die feinere verticale Verschiebung wird durch die Mikrometerschraube M bewirkt und zwar kann die Grösse der betreffenden Verschiebungen mit Hilfe des Zeigers (Z) auf der auf der Platte (P) befindlichen Scala abgelesen werden. Die Verschiebung in der Richtung des Mikroskoptubus geschieht durch die Schraube b, während schliesslich eine seitliche Verschiebung durch die allerdings nur an den neueren Apparaten befindliche Schraube c bewirkt wird.

Bezüglich des optischen Theiles dieses Instrumentes sei gleich noch an dieser Stelle erwähnt, dass derselbe von Seibert in Wetzlar angefertigt wird. Derselbe besteht aus einem mit verschiebbarer Augenlinse versehenen Messocular (M) und einem aus 3 Linsen bestehenden Objective (O), das bei dem mir zur Verfügung gestellten Exemplare eine Vergrösserung von 96 ergab, während durch Abschrauben der vordersten Linse eine solche von 56 und nach Abschrauben der beiden vordersten Linsen eine Vergrösserung von 25 erreicht wurde. Der Abstand der Vorderfläche des Objectivs von dem zu beobachtenden Objecte betrug in dem letzteren Falle 55 *mm*.

Es sei noch erwähnt, dass die älteren Apparate von Albrecht auch eine Drehung um eine horizontale Achse gestatteten, und es wird eine entsprechende Vorrichtung auf besonderen Wunsch auch an den neueren Apparaten angebracht. Bietet nun diese Drehung auch speciell für die mikrometrischen Messungen keine Vortheile, so dürfte sie doch in anderer Beziehung von Nutzen sein können. So kann man z. B. ein derartiges Instrument auch sehr gut dazu benutzen, um grössere Objecte z. B. Blüten von Topfpflanzen, die man aus diesen nicht entfernen will, fortgesetzt bei mittelstarken Vergrösserungen zu beobachten.

§ 157. Eine ähnliche Construction besitzt ferner auch das nach den Angaben von F. E. Schulze ausgeführte Aquarium-Mikroskop von Klönne und Müller, dessen horizontaler Tubus, ebenfalls sowohl in verticaler Richtung, als auch nach rechts und links und hinten und vorn durch Zahn und Trieb bewegt werden kann. Es ist so möglich, das Mikroskop auf jeden beliebigen Punkt des auf einem besonderen Stativ ruhenden Aquariums genau einzustellen. Bezüglich der specielleren Construction dieses Instrumentes sei auf die Beschreibung von Schieffer-decker (II, 318) verwiesen.

6. Die Wahl des Stativs beim Ankauf.

§ 158. Bei Ankauf eines Mikroskopes wird für die Wahl des Stativs natürlich in erster Linie die Kostenfrage maassgebend sein müssen. Immerhin sollte aber doch ein jeder, der sich mit wissenschaftlichen mikroskopischen Untersuchungen beschäftigen will, vor allem darauf sehen, wenn irgend möglich, ein Stativ zu erwerben, das entweder bereits mit einem Abbe'schen Beleuchtungsapparate versehen ist, oder wenigstens so gross ist, dass derselbe noch nachträglich angebracht werden kann. Anzuempfehlen ist ferner auch die verhältnismässig wenig Kosten verursachende grobe Einstellung mit Zahn und Trieb. Wenn man auch in die Lage kommen kann, Untersuchungen im polarisierten Licht auszuführen, ist ferner die Anschaffung eines Stativs mit drehbarem Objecttisch dringend anzurathen. Stehen grössere Geldmittel zur Verfügung, so ist namentlich für Bacteriologen auch die Anschaffung eines beweglichen Objecttisches zu empfehlen. Die Vorrichtung zum Umlegen des Mikroskopes kommt dagegen eigentlich wohl nur dann ernstlich in Betracht, wenn man grössere Apparate, wie z. B. den Engelmann'schen Mikrospectralapparat oder dergl., am Mikroskop anbringen will oder bei der Mikrophotographie. Da aber auch sehr brauchbare mikrophotographische Apparate mit vertical stehender Camera construiert sind, ist die Anschaffung eines umlegbaren Stativs nicht einmal für die Mikrophotographie unbedingt nothwendig.

3. Das Instandhalten und Reinigen des Mikroskops.

§ 159. Für einen jeden, der häufig mit dem Mikroskop zu arbeiten hat, würde es natürlich äusserst zeitraubend sein, wenn er dasselbe nach jedesmaligem Gebrauch wieder in seinen Kasten zurückbringen wollte, wozu unter Umständen sogar noch das Abschrauben verschiedener Hilfsapparate erforderlich sein würde. Um nun aber dennoch das Mikroskop möglichst vor dem Verstäuben zu schützen, thut man jedenfalls gut, dasselbe nach der Benutzung mit einer Glasglocke zu bedecken. Der Anfänger ist namentlich auch davor zu warnen, das Mikroskop nach Entfernung des Oculars und unter Belassung des Objectivs längere Zeit stehen zu lassen, weil sich dann der in den Tubus hineinfallende Staub an der relativ schwer zu reinigenden Hinterfläche des Objectivs ansammeln würde. Es empfiehlt sich sogar, das Ocular auch nach Entfernung des Objectivs am Mikroskop zu belassen; es wird so nämlich verhütet, dass sich Staub an den Wänden des Tubus festsetzt, der bei dem späteren Gebrauch sehr leicht auf die Hinterfläche des Objectivs hinabfallen könnte.

Trotz aller Vorsichtsmaassregeln wird nun aber ein Verstäuben des Mikroskops nicht ganz zu verhindern sein und man wird deshalb auch häufig genöthigt sein, die einzelnen Theile desselben zu reinigen. Man benutzt hierzu zweckmässig einen reinen weichen Pinsel und feine mehrfach gewaschene Leinwand.

§ 160. Speciell bei dem Ocular ist natürlich die obere dem Auge des Beobachters zugekehrte Fläche der Augenlinse dem Bestäuben ausgesetzt. Auf dieser ist nun aber auch jede Verunreinigung sofort bemerkbar und ohne Mühe zu entfernen. Durch Fett oder dergl. bewirkte Verunreinigungen sind eventuell mit einem mit Benzin befeuchteten Leinwandlappen zu beseitigen.

Trübungen des Gesichtsfeldes, die von anderen Linsenflächen des Oculars bewirkt werden, sind ferner leicht daran zu erkennen, dass sie sich bei alleinigem Drehen des Oculars entsprechend verschieben. Befinden sich dieselben auf den Innenflächen der Ocularlinsen, so kann man dieselben ohne Bedenken abschrauben und dann mit Pinsel oder Leinwandlappen reinigen.

§ 161. Bei dem Objectiv ist namentlich die dem zu beobachtenden Objecte zugekehrte Linsenfläche der Gefahr der Verunreinigung ausgesetzt. Bei den Systemen mit geringem Focalabstand hat man sich speciell davor zu hüten, dieselben mit der Beobachtungsflüssigkeit in Berühung zu bringen, und es ist in dieser Hinsicht ganz besondere Vorsicht geboten, wenn man mit Reagentien operiert, die die Linsen oder die Fassung derselben angreifen könnten; der Anfänger ist deshalb auch vor der Benutzung allzu kleiner Deckgläschen zu warnen. Hat nun aber trotz aller Vorsicht eine Benetzung der Vorderfläche des Objectivs mit der Beobachtungsflüssigkeit stattgefunden, so macht sich dies im allgemeinen sofort durch Trübung des mikroskopischen Bildes bemerklich, und es ist dem Anfänger anzurathen, sich, sobald er keine klaren mikroskopischen Bilder erhält, davon zu überzeugen, ob auch die Vorderfläche seines Objectives nicht verunreinigt ist. Ferner wird er bei jedem Wechsel des Objectives danach zu sehen haben, ob nicht etwa während des Gebrauches eine Verunreinigung der Vorderfläche des Objectivs stattgefunden hat, und dieselbe eventuell sofort zu entfernen haben. Kleine Verunreinigungen geben sich am besten zu erkennen, wenn man das Objectiv mit der Vorderfläche nach oben in eine solche Lage zum Auge bringt, dass sich auf dieser der Himmel oder eine sonstige helle Fläche abspiegelt.

Ausserdem ist nun allerdings auch die Hinterfläche des Objectivs nicht gänzlich vor Verstäubung zu schützen, und es ist somit ein entschiedener Uebelstand, dass diese Fläche bei vielen Systemen nur sehr schwer

zugänglich ist. Man benutzt in solchen Fällen zur Reinigung zweckmässig ein entsprechend zugespitztes Hollundermarkstückchen, dem man nach jedesmaliger Benutzung eine neue Schnittfläche gibt oder auch Holzstäbchen — etwa Streichhölzer — an deren einem Ende man ein kleines Köpfchen von feiner Leinwand befestigt hat.

Zeigen sich schliesslich Trübungen an einer der Innenflächen des Objectivsystems, die namentlich durch Lösung oder Verletzung der zur Verbindung der verschiedenen Linsen dienenden Canadabalsamschicht bewirkt werden können, so thut man jedenfalls gut, das betreffende System dem Lieferanten derselben zur Reparatur zuzusenden. Auf alle Fälle ist vor einem Auseinanderschrauben der stärkeren Systeme zu warnen.

§ 162. Nach der Benutzung der Immersionssysteme ist natürlich die angewandte Immersionsflüssigkeit möglichst bald wieder zu entfernen. Bei den Wasserimmersionen kann dies mit einem feinen Leinenlappen geschehen. Das bei den Systemen für homogene Immersion benutzte Oel wird dagegen zweckmässig zunächst mit Hilfe eines mit Benzin befeuchteten Pinsels abgewischt. Einen solchen Pinsel kann man, beiläufig bemerkt, auch dazu benutzen, um das Immersionsöl von den Deckgläsern zu entfernen. Bei Canadabalsampräparaten wartet man hiermit zweckmässig so lange, bis der Balsam etwas erstarrt ist. Auf dem Deckglas eingedicktes Oel kann leicht mit Xylol entfernt werden.

§ 163. Von den Metalltheilen des Mikroskops sind namentlich der Tubus und die Einstellungsvorrichtungen der Gefahr der Verunreinigung und Abnutzung ausgesetzt. Sind dieselben nicht in der erforderlichen Weise leicht beweglich, so sind sie eventuell unter Benutzung von Benzin sorgfältig zu reinigen und ganz leicht einzufetten. Zu letzterem ist nach Giltay (I, 9) eine Mischung von reinem Schweinefett, Wachs und etwas säurefreiem Olivenöl am meisten geeignet. Da jedoch das letztere schwer zu beschaffen ist, empfiehlt Giltay allgemein reines Schweinefett als das geeignetste Einfettungsmittel. Dasselbe wird zweckmässig mit einem reinen Leinwandlappen aufgetragen, die Fettschicht dann aber wieder bis zu fast unsichtbarer Dicke abgerieben.

Namentlich bei grösseren und complicierteren Instrumenten ist die Reinigung der Mikrometerschraube mit besonderen Schwierigkeiten verknüpft. Man wird deshalb gut thun, wenn sich in der Functionierung derselben irgend welche Mängel zeigen, das betreffende Instrument von einem Mechaniker untersuchen zu lassen. Es empfiehlt sich auch, derartige Mikroskope von Zeit zu Zeit dem Lieferanten derselben zur Reinigung zuzusenden. Von der optischen Werkstätte von C. Zeiss wird diese Arbeit gratis ausgeführt.

4. Die Bestimmung der optischen Constanten und die Prüfung des Mikroskops.

a) Die Bestimmung der Vergrösserung des Mikroskops.

§ 164. Ebenso wie bei jeder einzelnen Linse ist natürlich auch beim Mikroskop die Vergrösserung keine constante Grösse, sondern ändert sich je nach der Entfernung des beobachteten Objectes. Da nun aber das mikroskopische Bild bei richtiger Einstellung in der Entfernung der deutlichen Sehweite liegt, so pflegt man die Vergrösserung bei einer derartigen Objectweite zu bestimmen, die in der Entfernung der normalen Sehweite (250 *mm*) ein Bild gibt.

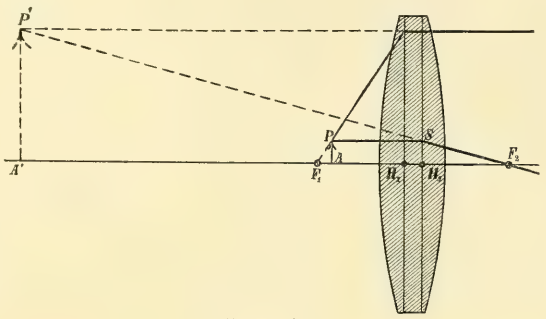


Fig. 78.

§ 165. Die Vergrösserung einer einfachen Lupe oder eines in der gleichen Weise functionierenden Linsensystemes lässt sich nun in sehr einfacher Weise aus der Brennweite derselben berechnen. Stellt z. B. P' Fig. 78, die in der gewöhnlichen Weise (cf. § 8) durch Construction ermittelte Abbildung von P dar, so ist die Vergrösserung (N) offenbar bestimmt durch das Verhältnis der beiden Pfeilgrössen A P und A' P':

$$N = \frac{A'P'}{AP} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I)}$$

Nun folgt aber ferner aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $F_2 A' P'$ und $F_2 H_2 S$, in denen wie in den früheren Constructionen F_2 und H_2 den hinteren Brenn- und Hauptpunkt darstellen, dass

$$\frac{A'P'}{S H_2} = \frac{A'F_2}{H_2 F_2}.$$

Nun ist aber offenbar $S H_2 = A P$, $H_2 F_2 =$ der Brennweite f und $A' F_2 =$ dem Bildabstande, den wir mit x bezeichnen wollen. Setzen wir nun diese Werte in die obige Gleichung ein, so wird aus derselben

$$\frac{A'P'}{AP} = \frac{x}{f}.$$

Durch Combination dieser Gleichung mit der Gleichung (I) erhalten wir schliesslich

$$N = \frac{x}{f}.$$

Wollen wir also die dem Bildabstande von 250 *mm* entsprechende Vergrösserung bestimmen, so brauchen wir offenbar nur diesen Wert für x in obige Gleichung einzusetzen und erhalten somit für die der normalen Sehweite einer Linse entsprechende Vergrösserung (N) die Gleichung:

$$N = \frac{250}{f},$$

in der f also die — natürlich auch in *mm* gemessene — Brennweite bedeutet. Ausserdem ist hierbei nur noch — wie aus Fig. 78 unmittelbar ersichtlich ist — die Annahme gemacht, dass sich das Auge im hinteren Brennpunkte (F_2) befindet, denn von diesem aus wird ja die Bildweite gerechnet. Uebrigens wird auch bei Angaben über die Vergrösserung von Lupen etc. gewöhnlich diese Annahme gemacht. Ferner werden nach obiger Formel gewöhnlich auch die neuerdings vielfach in den Preisverzeichnissen u. dgl. angegebenen Objectivvergrösserungen oder Eigenvergrösserungen der Objective berechnet. So ergibt sich z. B. aus derselben in sehr einfacher Weise, dass die Eigenvergrösserung eines Systemes vom 8 *mm* Brennweite 250 : 8 = 31·25 beträgt.

§ 166. Zwischen dieser Eigenvergrösserung der Objective und der Gesammtvergrösserung des Mikroskops besteht nun aber nur bei den neueren Zeiss'schen Apochromaten und Compensationsocularen eine einfache Beziehung. Diese sind nämlich nach den Berechnungen von Abbe, wie bereits im § 116 erwähnt wurde, in der Weise ausgeführt, dass die Brennpunkte der verschiedenen Oculare, und somit auch sehr annäherungsweise die mit diesen betrachteten Objectivbilder sich innerhalb des Mikroskoptubus an der gleichen Stelle befinden. Es wird also infolge dessen das von einem beliebigen Objectiv entworfene Bild bei der Beobachtung mit verschiedenen Ocularen stets die gleiche Vergrösserung besitzen. Man erhält ferner in diesem Falle die einer beliebigen Combination von Objectiv und Ocular entsprechende Gesammtvergrösserung, indem man die Eigenvergrösserung des betreffenden Objectivs mit der Nummer des betreffenden Oculars, die ja, wie bereits erwähnt wurde, direct die Eigenvergrösserung desselben angibt, multipliciert. So findet man z. B., dass die Combination des Objectives 8 *mm* äqu. Brennw., dessen Eigenvergrösserung, wie wir soeben sahen, 31·25 beträgt, und des Oculars 4 die Vergrösserung 31·25 . 4 = 125 liefert.

Bei den anderen Systemen sind die Beziehungen zwischen der Einzelvergrösserung von Objectiv und Ocular weniger einfach, weil das vom Objectiv im Mikroskoptubus entworfene Bild je nach der Wahl des Oculares eine andere Stelle einnimmt und somit auch beim Wechsel des Oculares eine Aenderung der Objectivvergrösserung stattfindet. Wir wollen denn auch auf die für diese Fälle giltige rechnerische Bestimmung

der Gesammtvergrösserung nicht näher eingehen. Von grösserem praktischen Interesse ist hier jedenfalls die directe empirische Bestimmung der Vergrösserung, die wir nun etwas specieller ins Auge fassen wollen.

§ 167. Zur Ermittlung der Vergrösserung der Combination von einem bestimmten Objectiv und Ocular verfährt man zweckmässig in der Weise, dass man das Bild eines Objectivmikrometers mit Hilfe eines der §§ 195—199 besprochenen Zeichenapparate auf eine um 250 *mm* vom Auge entfernte Zeichenebene aufzeichnet und die Abstände der Theilstriche auf dieser Zeichnung mit dem Zirkel oder Maasstabe ermittelt. Das Verhältnis zwischen den so gefundenen Dimensionen und denen des Objectmikrometers gibt dann offenbar direct die Vergrösserung an. Fände man also z. B., dass der Abstand von zwei Theilstrichen des in 0·1 *mm* eingetheilten Objectmikrometers in der in dieser Weise angefertigten Zeichnung im Mittel 14·5 *mm* betrüge, so würde sich offenbar eine Vergrösserung von 145 ergeben.

§ 168. Man wird nun bei derartigen Bestimmungen, wenn es sich um sehr schwache Vergrösserungen handelt, einfach einen gewöhnlichen Maasstab verwenden können; sonst benutzt man je nach der Stärke der Vergrösserung einen in 0·1 oder 0·01 *mm* eingetheilten Objectivmikrometer. Wenn die auf diesem befindlichen Striche bei starker Vergrösserung relativ dick werden, so muss man die Mitte der Striche oder besser den gleichen Rand derselben (etwa immer den linken) durch einen feinen Bleifederstrich darstellen. Natürlich wird man auch gut thun, stets mehrere Striche zu zeichnen und aus dem gefundenen Werten das Mittel zu nehmen. Würde es sich um sehr genaue Bestimmungen handeln, die ja aber wohl im allgemeinen nicht erforderlich sein werden, so würde man natürlich auch die Richtigkeit des benutzten Objectivmikrometers controlieren müssen.

Die Entfernung der Zeichenebene hat man streng genommen von dem Augenpunkte des Mikroskops (cf. § 87) aus zu messen. Bei den Zeichenapparaten mit doppelter Reflexion ist natürlich auch die horizontale Entfernung der beiden reflectierenden Flächen mit in Rechnung zu bringen. Sonst könnten namentlich bei den Abbe'schen Apparaten neuerer Construction sehr beträchtliche Fehler entstehen.

§ 169. Zu beachten ist ferner noch, dass die Stärke der Vergrösserung natürlich je nach der Tubuslänge verschieden gross ist. Gewöhnlich wird nun aber die Vergrösserung in Deutschland bei der Normaltubuslänge von 160 *mm* gemessen, und es beziehen sich auch auf diese Tubuslänge die in den meisten Katalogen angegebenen Vergrösserungen.

§ 170. Schliesslich sei noch hervorgehoben, dass man bei genauen Messungen finden wird, dass bei den meisten Objectiven die Stärke der Vergrösserung keineswegs in allen Theilen des Gesichtsfeldes die gleiche ist. Bei genaueren Messungen pflegt man denn auch gewöhnlich nur den mittleren Theil des Gesichtsfeldes zu benutzen.

Auf die für die Praxis wichtigeren Methoden, mit Hilfe derer die Vergrösserung mikroskopischer Zeichnungen bestimmt wird, werden wir später noch näher eingehen.

b) Die Bestimmung der Brennpunkte und Brennweiten.

§ 171. Von den zahlreichen zur Bestimmung der Brennpunkte und Brennweiten angewandten Methoden soll im folgenden nur eine ausführlicher besprochen werden, die, wenn sie auch nicht gerade für alle Fälle eine sehr grosse Genauigkeit besitzt, doch einer sehr allgemeinen Anwendung fähig ist und sich überdies an unsere obigen Constructionen unmittelbar anschliesst. Nothwendig ist für diese Methode nur, dass man über ein Mikroskop mit ausziehbarem Tubus verfügt, an dessen unteren Rand sich, wie dies z. B. bei den Zeiss'schen Mikroskopen der Fall ist, ein zweites Objectiv anschrauben lässt.

§ 172. Handelt es sich zunächst darum, die Lage der Brennpunkte eines Objectivs zu bestimmen, so brauchen wir uns nur daran zu erinnern, dass ja die von einem unendlich oder sehr entfernten Punkte kommenden Strahlen in der Brennebene vereinigt werden und dass in dieser die Abbildung eines unendlich fernliegenden Objectes stattfindet. Für Mikroskopobjective, deren Brennweite im allgemeinen nur wenige Millimeter beträgt, kann aber bereits eine Entfernung von 1 *m* als sehr grosse Entfernung gelten, und man kann sich auch in der That durch Betrachtung des von einem nicht allzu schwachen Objectiv gelieferten reellen Bildes leicht davon überzeugen, dass alle weiter als einen Meter entfernten Objecte in einer Ebene abgebildet werden. Natürlich darf man aber bei derartigen Beobachtungen nur den Planspiegel benutzen, da ja durch den Hohlspiegel oder gar durch den Abbe'schen Beleuchtungsapparat von fernliegenden Gegenständen dem Objectiv zum Theil sehr nahe liegende Bilder erzeugt werden.

§ 173. Zur Bestimmung der Lage des oberen Brennpunktes eines Objectivsystemes schraubt man nun zunächst ein schwach vergrösserndes Objectivsystem an den inneren ausziehbaren Tubus, setzt ein Ocular auf und stellt nun das so gebildete Mikroskop auf den unteren Rand des äusseren Tubus, der bei den folgenden Messungen als Nullpunkt dient, ein. Es kann dies z. B. in der Weise geschehen, dass man an den Rand des Tubus einen mit einer Staubschicht oder dergl. versehenen Object-

träger heranhält. Diese Einstellung wird sodann entweder an dem inneren Tubus markiert oder, wenn derselbe, wie dies ja neuerdings meistens der Fall ist, eine direct die Tubuslänge angebende Scala*) besitzt, die betreffende Einstellung notiert. Sodann schraubt man an den äusseren Tubus das zu untersuchende Objectiv und bewegt nun den inneren Tubus so lange nach oben oder unten, bis man mit Hilfe desselben das Bild fernstehender Gegenstände erblickt. Offenbar ist dann das innere Mikroskop auf die Brennebene des zu prüfenden Objectivs eingestellt und die Grösse und Richtung der zu dieser Einstellung nöthigen Verschiebung des inneren Tubus, die an der Scala desselben direct abgelesen werden kann, gibt unmittelbar an, um wie viel die gesuchte Brennebene sich unterhalb oder oberhalb des unteren Randes des äusseren Tubus befindet. Ebenso wie von diesem Tubusrande können wir nun übrigens die Brennweite natürlich auch von dem sich jenem anlegenden Rande des Objectivs aus messen, wobei nur von dem bei vielen Objectiven über jenen Rand hinausragenden Gewindetheile abzusehen ist.

Als Beispiel für die Anwendung obiger Methode will ich kurz die Brennpunktsbestimmung eines Zeiss'schen Systemes B beschreiben. Bei derselben wurde zunächst ein System a an den inneren Tubus angeschraubt; unter Anwendung des Oculars 2 fand ich dann, dass dasselbe bei einer Tubuslänge von 183 *mm* auf einen unmittelbar unter den äusseren Tubusrand gehaltenen bestäubten oder angehauchten Objectträger eingestellt war. Nun wurde das System B an den äusseren Tubus geschraubt und der innere Tubus so lange verschoben, bis das mehrere Meter entfernte Bild des Fensterkreuzes deutlich sichtbar war. Ich fand nun, dass dies bei einer Tubuslänge von 156 *mm* der Fall war. Da ich also den inneren Tubus um 183 — 156 = 27 *mm* senken musste, um dieses Bild zu erhalten, so wird offenbar die Brennebene des betreffenden Systemes 27 *mm* unter dem unteren Tubusrande liegen.

§ 174. In ähnlicher Weise lässt sich nun natürlich auch die für die Grösse des freien Objectabstandes ausschlaggebende Lage der vorderen Brennebene des Objectivs bestimmen. Man kann hier z. B. in der Weise verfahren, dass man das Objectiv mit der Tubusschraube nach unten auf den Objecttisch stellt, dann den äusseren Tubus, um denselben beim Bewegen des inneren Tubus nicht mit zu bewegen, ganz herabschraubt, dann an den inneren Tubus ein mittelstarkes Objectiv anschraubt, ein Ocular einsetzt und nun das Mikroskop zunächst auf die obere Fläche des zu prüfenden Objectivs und darauf auf das von dieser entworfene Bild eines fernen Gegenstandes einstellt. Zur Einstellung auf

*) Bei dieser Scala ist der Revolver nicht mitgemessen; derselbe wird auch bei derartigen Messungen zweckmässig entfernt.

die Oberfläche des Objectivs kann man entweder auf demselben befindliche Staubtheilchen oder auch ein kleines darauf gebrachtes Papierschnitzchen benutzen.

Für das Objectiv B (Zeiss) fand ich in dieser Weise und unter Anwendung des Apochromats 16 *mm* und Comp. Ocul. 4, dass die Brennebene 2·8 *mm* von der vorderen Linsenfläche entfernt ist.

§ 175. Ausserdem kann man aber natürlich auch direct die Grösse des freien Objectabstandes bestimmen, und zwar kann man dies z. B. sehr zweckmässig nach der von Gage (I, 33) vorgeschlagenen Methode ausführen, indem man das Mikroskop zunächst auf die Oberfläche eines bestäubten nicht mit Deckglas bedeckten Objectträgers einstellt und dann auf den Objectträger einen keilförmigen Körper bringt, den man so lange verschiebt, bis er das betreffende Objectiv berührt. Durch Messung der an jener entsprechend markierten Stelle vorhandenen Dicke des Keiles erhält man dann offenbar den gesuchten Objectabstand. Bei stärkeren Objectiven kann man zu dem gleichen Zwecke auch so verfahren, dass man dasselbe zunächst auf die untere Seite eines Deckgläschens von bekannter Dicke einstellt und dann an der Mikrometerschraube des Mikroskops abliest, wie viel Windungen erforderlich sind, um eine Berührung von Deckglas und Objectiv zu bewirken. Man erhält dann offenbar den freien Objectabstand, indem man die den gefundenen Windungen der Mikrometerschraube entsprechende Länge zu der Dicke des Deckgläschens hinzuaddiert.

§ 176. Aus der Lage der Brennpunkte würde sich nun für Linsen, deren Dicke vernachlässigt werden kann, unmittelbar auch die Grösse der Brennweite ergeben, insofern man dieselben hier einfach als die Entfernung der Brennpunkte von der Linse definieren kann. Für dickere Linsen und Linsensysteme würde aber noch die Kenntnis der Hauptebenen zur directen Messung der Brennweiten nothwendig sein. Da nun aber die directe Bestimmung der Hauptpunkte mit grösseren Schwierigkeiten verknüpft ist, soll im folgenden eine relativ einfache Methode beschrieben werden, die eine directe Bestimmung der Brennweiten gestattet und sich ausserdem an die in den früheren Abschnitten dieses Buches zur Ermittlung der Bildpunkte ausgeführten Constructionen unmittelbar anschliesst. Wenn nämlich P_2, Fig. 79, die in der gewöhnlichen Weise

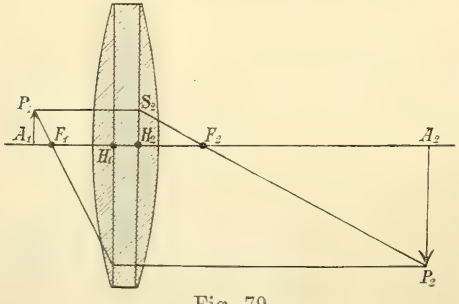


Fig. 79.

durch Construction ermittelte Abbildung des Punktes P_1 darstellt, so folgt aus der Aehnlichkeit der Dreiecke $S_2 H_2 F_2$ und $F_2 P_2 A_2$, dass

$$\frac{F_2 H_2}{F_2 A_2} = \frac{S_2 H_2}{A_2 P_2}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I)}$$

Nun ist aber $F_2 H_2$ offenbar gleich der Brennweite (f), ferner ist $S_2 H_2 = P_1 A_1$, d. h. der Grösse des Objectes. Da ferner $A_2 P_2$ gleich der Bildgrösse ist, so ist der Quotient auf der rechten Seite der Gleichung I offenbar gleich dem umgekehrten Werte von der durch das betreffende System bewirkten Vergrösserung $\left(\frac{1}{N}\right)$.

Die Grösse $F_2 A_2$ stellt schliesslich den Abstand des Bildes von dem hinteren Brennpunkte dar und soll mit x_2 bezeichnet werden.

Setzen wir nun diese Werte in obige Gleichung ein, so erhalten wir die Gleichung

$$\frac{f}{x_2} = \frac{1}{N} \text{ oder } f = \frac{x_2}{N}.$$

Wir können nun nach dieser Gleichung die Grösse der Brennweite f leicht berechnen, wenn wir die Grössen x_2 und N durch directe Messung bestimmt haben. Es ist jedoch hierbei zu beachten, dass mit Variierung des Bildabstandes natürlich auch die Vergrösserung wechselt, dass wir somit durch Variierung der Grösse x_2 und Bestimmung der zugehörigen Grösse von N mit dem gleichen Objectiv eine beliebige Anzahl einander controlierender Bestimmungen ausführen können.

Die Bestimmung der Grössen x_2 und N kann nun in der Weise geschehen, dass wir mit dem betreffenden Objectiv, nachdem wir es in der gewöhnlichen Weise an den Mikroskoptubus angeschroben haben, in einer leicht zu ermittelnden Entfernung, etwa in der Ebene des o b e r e n Tubusrandes, das reelle Bild eines Maasstabes oder dergl. entwerfen, das man zur Messung zweckmässig mit geöltem Papier, Pauspapier oder dgl., auf dem man gleichfalls einen Maasstab aufgezeichnet hat, auffängt. Man kann so leicht die Grösse des reellen Bildes bestimmen und danach die Vergrösserung (N) berechnen. Die Grösse x_2 können wir aber leicht berechnen, wenn wir zuvor die Entfernung der Brennebene des Objectivs von dem unteren Tubusrande in der im § 173 geschilderten Weise bestimmt haben. Offenbar erhalten wir die Grösse x_2, wenn wir zu der gefundenen Tubuslänge jene Grösse hinzuaddieren, falls die Brennebene des betreffenden Objectives unterhalb des Tubusrandes liegt, während wir sie im anderen Falle davon abziehen müssen.

§ 177. Handelt es sich also z. B. um die Bestimmung der Brennweite des Objectives B (Zeiss), so können wir zweckmässig einen gewöhnlichen auf Glas eingravierten, in $^1/_2$ *mm* getheilten Maasstab zur Bestimmung benutzen. Wir legen denselben auf den Objecttisch, schrauben das Objectiv an den äusseren Tubus, legen auf den oberen Tubusrand das mit einem schwarzen Maasstab versehene Pauspapier, das man auch zweckmässig auf eine Glasplatte aufkleben kann, stellen den ausziehbaren Tubus auf eine bestimmte Länge, etwa 200 *mm*, ein, beleuchten von unten her möglichst intensiv und senken dann den Tubus so lange, bis auf dem Pauspapier ein scharfes Bild von dem auf dem Objecttisch liegenden Maasstabe erscheint. In dem betreffenden Falle betrug nun die Entfernung der auf dem Maasstabe 0·5 *mm* von einander entfernten Linien im Bilde 9·6 *mm*. Daraus ergibt sich die Vergrösserung $N = 19{\cdot}2$. Ferner haben wir bereits im § 173 angegeben, dass die Brennebene des Objectivs B 27 *mm* unter dem unteren Tubusrande liegt. Diese Grösse haben wir nun zu der gemessenen Tubuslänge 200 hinzuzuaddieren und finden also $x_2 = 227$ *mm*, und folglich:

$$f = \frac{x_2}{N} = \frac{227}{19{\cdot}2} = 11{\cdot}8\ mm.$$

§ 178. Bei stärkeren Objectiven benutzt man nun anstatt des gewöhnlichen Maasstabes besser einen Objectivmikrometer, oder, da dieser meist nur relativ schwache Bilder liefert, noch zweckmässiger das einfache Liniensystem der Abbe'schen Diffractionsplatte (cf. § 69), bei der natürlich zuvor durch Messung der Abstand der Linien bestimmt werden muss. Eine genauere Bestimmung der Vergrösserung kann man ferner unter Anwendung eines Ramsden'schen Mikrometeroculars erhalten, bei dem sich der Mikrometer ganz ausserhalb des Oculares befindet und somit genau in die Ebene des Tubusrandes oder auch in eine leicht genau zu bestimmende, unterhalb desselben befindliche Ebene gebracht werden kann.

§ 179. In der gleichen Weise lassen sich nun aber auch die optischen Constanten der beiden Linsen des Oculars, sowie auch diejenigen des ganzen Oculars bestimmen. Wir wollen an dieser Stelle nur auf den letzteren Punkt etwas näher eingehen.

Man kann zunächst die untere Brennebene des Oculars in der Weise feststellen, dass man an den inneren Tubus des Mikroskops ein schwaches Objectiv anschraubt und nach Aufsetzen eines Oculars die dem unteren Rande des äusseren Tubus entsprechende Einstellung bestimmt. Dann bringt man das zu untersuchende Ocular umgekehrt auf den Mikroskoptisch, senkt den äusseren Tubus bis auf den Rand des Oculars hinab und stellt den inneren Tubus auf das vom Ocular entworfene Bild eines sehr fernen Gegenstandes ein. Der Unterschied zwischen

diesen beiden Einstellungen gibt dann offenbar die Entfernung der Brennebene von dem unteren Rande des Oculars an.

Unter Anwendung des Objectivs a und Oculars 2 fand ich so z. B., dass der innere Tubus bei einer Tubuslänge von 182·5 *mm* auf den unteren Tubusrand eingestellt war. Wurde nun das Zeiss'sche Comp.-Ocular 4 auf den Objecttisch gebracht und der äussere Tubus ganz auf dasselbe herabgesenkt, so musste ich, um das Bild des Fensterkreuzes zu erhalten, den inneren Tubus so weit senken, bis er auf 151·5 eingestellt war. Es folgt hieraus, dass die gesuchte Brennweite 182·5 — 151·5 = 31 *mm* von dem unteren Rande des Oculars entfernt ist.

§ 180. Zur Bestimmung der Brennweite kann auch in diesem Falle die im § 176 entwickelte Formel $f = \frac{x_2}{N}$ benutzt werden. Als Object kann man hier zweckmässig einen auf Pauspapier gezeichneten Maasstab anwenden, den man auf die in verticaler Richtung verschiebbare Cylinderblendung des Mikroskops aufklebt. Der äussere Tubus wird in diesem Falle ebenfalls bis auf den Rand des Oculars herabgesenkt und das in der Ebene des oberen Tubusrandes erzeugte reelle Bild auf einem mit Maasstab versehenen Pauspapierstreifen aufgefangen. Durch entsprechende Verschiebung der Cylinderblendung und des inneren Tubus lässt sich so leicht eine scharfe Abbildung erzeugen.

So fand ich z. B. für das Zeiss'sche Comp.-Ocular 4, dass bei einer Tubuslänge von 192 *mm* das Bild gegen das Object auf das fünffache vergrössert war. Da nun der Brennpunkt, wie wir vorhin gefunden haben, 21 *mm* unter dem oberen Rande des Tubus liegt, so ist die Grösse $x_2 = 192 + 31 = 223$ *mm*. Hieraus folgt: $f = \frac{223}{5} = 44{\cdot}6$ *mm* (Zeiss gibt 45 *mm* an).

Wenn man über genügend genau gearbeitete Maasstäbe und wo möglich noch über ein Ramsden'sches Mikrometer-Ocular verfügt, wird man übrigens auch in dieser Beziehung genauere Werte erhalten können.

c) Die Bestimmung des Oeffnungswinkels.

§ 181. Der Oeffnungswinkel des Objectivs und somit auch derjenige des ganzen Mikroskops wird nach § 87 bestimmt durch die Verbindungslinien eines Punktes der Objectebene mit den Rändern der Eintrittspupille; er würde also z. B. in dem durch Fig. 48 dargestellten Falle durch den Winkel $E_1 P E_2$ gebildet. Von den verschiedenen zur Bestimmung dieses Winkels dienenden Methoden wollen wir nun an dieser Stelle nur zwei besprechen.

§ 182. 1. Die Methode von Lister beruht darauf, dass jeder auf dem Randstrahl $O E_1'$ (Fig. 80) liegende leuchtende Punkt (P_1) die Bildebene $O_1' O_2'$ nur bis zur Mitte O' beleuchtet. Da O' das Bild von O, so wird ja, wie aus der Fig. 80 unmittelbar ersichtlich ist, der Strahlenkegel $E_1' P_1 E_2'$, der in P_1' ein Bild von P_1 erzeugt, sich von O_1' bis O' ausbreiten; entsprechend wird der von P_2 ausgehende Strahlenkegel die andere Hälfte des Gesichtsfeldes ($O' O_2'$) beleuchten. Würden wir nun ferner das Bild $O_1' O_2'$ mit dem Ocular betrachten, so würde offenbar an der Lichtvertheilung nichts geändert werden.

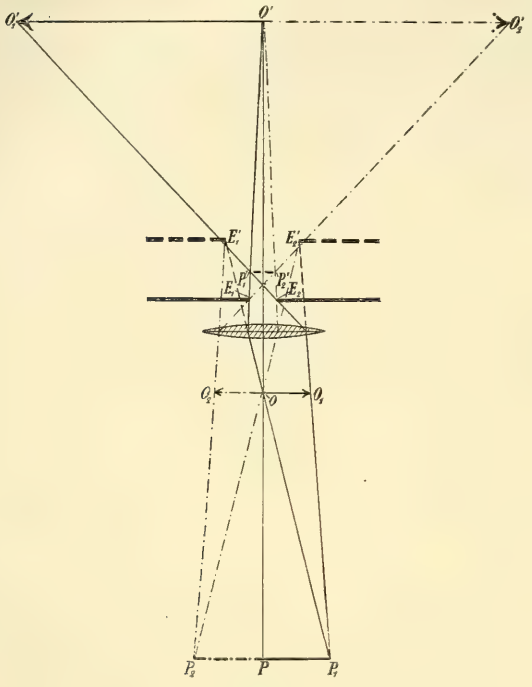


Fig. 80.

Um nun aufgrund dieser Construction den Oeffnungswinkel zu bestimmen, verfährt man umgekehrt in der Weise, dass man eine schmale Lichtquelle, etwa eine Kerzenflamme, in der Richtung senkrecht zur Achse des horizontalgestellten Mikroskops, an dem natürlich auch die Beleuchtungsvorrichtung incl. Spiegel ausgeschaltet ist, so lange verschiebt, bis gerade das halbe Gesichtsfeld beleuchtet ist. Sodann verschiebt man das Mikroskop in der entgegengesetzten Richtung, bis die andere Hälfte des Gesichtsfeldes hell erscheint und findet so die beiden Punkte P_1 P_2, Fig. 80; der Punkt O wird ferner durch die Mitte der Objectebene dargestellt. Man misst nun mit dem Lineal die Strahlen $P_1 P_2$ und OP und kann dann den gesuchten Oeffnungswinkel (u) aus der Formel

$$\text{tang}\,\frac{u}{2} = \frac{P P_1}{O P} = \frac{P P_2}{O P} \text{ berechnen.}$$

§ 183. 2. Die Methode von Abbe setzt zwar den Besitz eines besonders zu diesem Zwecke construierten Apparates, des Apertometers, voraus, gestattet aber in kurzer Zeit sehr genaue Messungen und ist überdies bei stärkeren und schwächeren Systemen (auch Immersions-

systemen) gleich gut zu verwenden. Der in Fig. 81 abgebildete Apertometer besteht nun im wesentlichen aus einer dicken halbkreisförmigen Glasplatte, die an der geraden Kante unter einem Winkel von 45° abge-

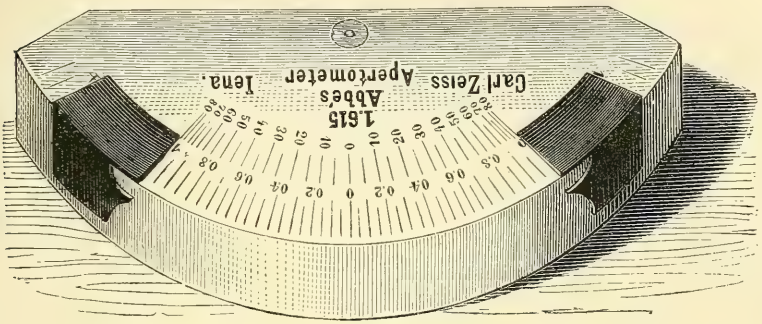


Fig. 81.

schrägt ist. Zur Benutzung wird diese Platte derartig auf den Objecttisch gebracht, dass der in der Nähe der oberen Kante befindliche Kreis, der von einer mit kleiner Oeffnung versehenen Silberschicht gebildet wird und genau über der Mitte der schrägen Fläche des Apertometers liegt, gerade in die Achse des Mikroskops fällt. Der Tubus wird dann mit dem zu prüfenden Objectiv auf jene Fläche genau eingestellt. Sieht man dann nach Entfernung des Oculars in den Tubus hinein, so erblickt man infolge der Totalreflexion an der schiefen Fläche die vor dem Apertometer befindlichen Gegenstände, ferner aber auch die beiden an der vorderen Seite des Apertometers beweglichen undurchsichtigen Zeiger, die man nun so lange verschiebt, bis die Spitzen das Gesichtsfeld gerade tangieren. Die Verbindungslinie dieser Spitzen mit dem Mittelpunkte des Gesichtsfeldes gibt dann offenbar den Oeffnungswinkel des betreffenden Objectives an. Da derselbe aber in dieser Weise in Glas gemessen wird, würde der auf Luft bezogene Oeffnungswinkel natürlich erst durch eine entsprechende Umrechnung (cf. § 33) zu ermitteln sein. Eine derartige Umrechnung ist nun aber bereits bei der Construction der Apertometerplatten ausgeführt, und es sind auf derselben überhaupt nicht die den verschiedenen Stellungen der Zeiger entsprechenden Winkel angegeben, vielmehr gibt die innere Scala (cf. Fig. 81) die auf Luft umgerechneten halben Oeffnungswinkel an, während die äussere Scala eine directe Ablesung der numerischen Aperturen gestattet.

Bezüglich der Anwendungsweise dieses Apparates sei noch erwähnt, dass das Bild der Zeiger bei schwachen Objectiven, die auch wohl am besten zur Erlernung der Methode geeignet sind, ausreichend gross ist,

um, wenn man einfach von oben in den Tubus hineinsieht, genau beobachtet werden zu können. Es ist hierbei nur nothwendig, dass das Auge während der Messung genau in centraler Stellung über der Mikroskopröhre verbleibt, was man leicht dadurch erreichen kann, dass man auf den Tubus eine Scheibe aus Pappe oder Blech bringt, die in der Mitte ein kleines Loch besitzt.

Bei stärkeren Objectiven wird aber das Bild der Zeiger zu klein, um direct genau beobachtet werden zu können. In diesem Falle ist die Bestimmung der Apertur an den Besitz eines mit ausziehbarem Tubus versehenen Mikroskopes gebunden, und zwar verfährt man dann in der Weise, dass man, nachdem man das zu prüfende Objectiv in der im Obigen beschriebenen Weise eingestellt hat, am unteren Ende des ausziehbaren Tubus ein schwaches Objectiv — am besten das dem Apertometer beigegebene Objectivsystem von sehr grosser Brennweite — anschraubt, ein Ocular einsetzt und mit dem in dieser Weise über dem zu prüfenden Objectiv gebildeten Mikroskop, dem „Hilfsmikroskop", das von dem zu prüfenden Objective entworfene Bild der Zeiger betrachtet.

Handelt es sich um die Bestimmung der Apertur von Immersionssystemen, so muss man natürlich zwischen die Apertometerplatte und das zu prüfende Objectiv die betreffende Immersionsflüssigkeit einschalten.

d) Das Zeichnungs- oder Definitionsvermögen des Mikroskops.

§ 184. Das sogenannte Zeichnungs- oder Definitionsvermögen eines optischen Instrumentes ist abhängig von der Vollkommenheit der geometrischen Strahlenvereinigung der von den einzelnen Punkten des Objectes ausgehenden Lichtkegel. Es wird also beeinträchtigt durch die im § 44—53 besprochenen Abbildungsfehler und zwar ist beim Mikroskop in dieser Beziehung fast ausschliesslich die Construction des Objectivs von Bedeutung, und man hat denn auch bei der Prüfung des Mikroskops vor allem die Objective einer genauen Untersuchung zu unterziehen.

§ 185. Sehr zweckmässig ist nun in dieser Beziehung die von Abbe herrührende Methode, bei der man als Object die in Fig. 82 abgebildete Testplatte benutzt. Die auf derselben sichtbaren 6 Kreise werden von verschiedenen dicken Deckgläschen gebildet, die auf der unteren Seite eine Silberschicht tragen, in welche eine Anzahl von feinen Linien, deren zackige Contouren speciell als Probeobject dienen, eingeritzt ist.

Um nun die Wirkung der Central- und Randstrahlen gleichzeitig beobachten zu können, schaltet man in den Blendungsträger des Abbe-

schen Beleuchtungsapparates eine Blendung ein, die zwei möglichst weit entfernte Bündel von Central- und Randstrahlen hindurchlässt. Man erhält eine solche Blendung, indem man zunächst mit Hilfe der Irisblen-

Fig. 82.

dung oder durch Auswechseln der gewöhnlichen Blendungen diejenige Weite der Blendungsöffnung ermittelt, die gerade das ganze Gesichtsfeld des betreffenden Objectivs ausfüllt. Ist nun der Radius dieser Oeffnung z. B. gleich A B (Fig. 83), so theilt man diesen in 4 gleiche Theile

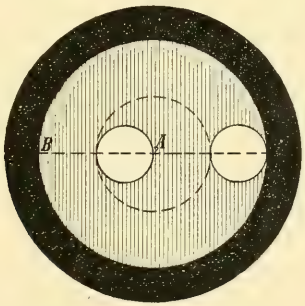


Fig. 83.

und construiert mit der so erhaltenen Strecke als Radius die beiden in der Fig. 83 gezeichneten Kreise, von denen der eine den Rand, der andere das Centrum der Blendungsöffnung tangiert. Kreise von dieser Grösse und Orientierung schneidet man sodann in ein die Grösse der gewöhnlichen Blendungen besitzendes Stück Pappe oder Cartonpapier.

Wird eine solche mit zwei kreisförmigen Oeffnungen versehene Blendung derartig eingeschaltet, dass die beiden Oeffnungen derselben zu der Oeffnung des Objectivs die in der Fig. 83 dargestellte Orientierung besitzen, so erhält man offenbar zwei getrennte Strahlenbüschel, die mit einander den grösstmöglichen Winkel bilden und Strahlen von jeder möglichen Neigung enthalten.

Bringt man nun auf ein mit derartiger Blendung versehenes Mikroskop die Abbe'schen Testplatte, so beobachtet man den beiden Strahlenbüscheln entsprechend zwei getrennte Bilder, die sich beim Wechsel der Einstellung gegen einander verschieben und namentlich bei zu tiefer Einstellung deutlich sichtbar sind. Wäre nun das betreffende Object ganz vollkommen corrigiert, so dass also wirklich eine rein geometrische Vergrösserung stattfände, so müsste es möglich sein, diese beiden Bilder bei einer ganz bestimmten Einstellung in der ganzen Ausdehnung des Gesichtsfeldes und für alle Farben zur vollständigen Coincidenz zu bringen. Die Ränder der Silberstreifen müssten also bei dieser Einstellung gleichzeitig vollkommen scharf und frei von allen Farbensäumen sein. In Wirklichkeit wird man nun aber bei dieser Art der Beobachtung bei allen einigermaassen starken Systemen sehr erhebliche Abbildungsfehler beobachten.

§ 186. Handelt es sich zunächst um sehr starke Systeme, so wird neuerdings mit Recht das Hauptgewicht darauf gelegt, dass namentlich für die in der Nähe der Achse gelegenen Partien des Gesichtsfeldes die verschiedenen Abbildungsfehler möglichst vollständig corrigiert sind, und es ist denn auch bei einem solchen Systeme in erster Linie diese Region zu prüfen. Von apochromatischen Systemen ist nun zu verlangen, dass die den beiden Lichtbüscheln entsprechenden Bilder sich bei den in der Mitte des Gesichtsfeldes verlaufenden Rändern der Silberstreifen bei richtiger Einstellung zu einem einzigen vollständig scharfen Bilde vereinigen, das von Farbensäumen vollständig frei ist. Bei den gewöhnlichen Achromaten sind dagegen der secundären Farbenabweichung und der chromatischen Differenz der sphärischen Aberration entsprechend schmale secundäre (grünlich und violett oder rosa gefärbte) Farbensäume gestattet. Sind aber die beiden Bilder bei keiner Einstellung zur völligen Coincidenz zu bringen, so ist die sphärische Aberration nicht genügend corrigiert, während das Auftreten von blauen oder gelben Farbensäumen auf eine unzureichende Correction der chromatischen Aberration schliessen lassen würde.

Gehen wir nun aber von der Mitte des Gesichtsfeldes zu der Betrachtung der Randpartien über, so macht sich gerade auch bei den Apochromaten die starke Wölbung des Gesichtsfeldes bemerklich, insofern es stets einer Drehung der Mikrometerschraube bedarf, um nach vorheriger Einstellung auf die Mitte nun auch am Rande die von den beiden getrennten Strahlenbüscheln gelieferten Bilder zur Coincidenz zu bringen. Diese Wölbung des Gesichtsfeldes, die eine Folge von dem grossen Oeffnungswinkel ist, kann nun aber den Wert der Apochromate nicht in Frage stellen. Da diese ja vorwiegend zur Entscheidung schwieriger Detailfragen dienen, denen meist eine Orientierung mit schwachen Ver-

grösserungen vorausgeht, so ist es von untergeordneter Bedeutung, ob das ganze Gesichtsfeld gleichzeitig zu übersehen ist; auch kann man ja besonders schwierig zu lösende Objecte mit Leichtigkeit in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen.

Ganz anders verhält es sich nun aber bei den mittleren und schwachen Systemen. Hier ist es ja im allgemeinen wünschenswert, das ganze Gesichtsfeld gleichzeitig übersehen zu können, und es ist hier auch speciell auf die ausreichende Correction der nach dem Rande zu gelegenen Theile des Gesichtsfeldes Gewicht zu legen.

§ 187. Der geübtere Mikroskopiker wird nun übrigens ausser der Abbe'schen Testplatte auch verschiedene mikroskopische Präparate, die scharf begrenzte Umrisse oder zarte Structuren enthalten, als Probeobjecte benutzen und sich mit Hilfe derselben über die Brauchbarkeit eines Objectives orientieren können. Im allgemeinen wird dann aber ein jeder gut thun, sich an solche Präparate zu halten, deren Bilder er durch langjährige Erfahrung genau kennen gelernt hat. Ich verzichte deshalb auch darauf, eine Reihe derartiger Probeobjecte aufzuzählen.

e) Das Auflösungsvermögen des Mikroskops.

§ 188. Als Auflösungsvermögen des Mikroskops bezeichnet man die Fähigkeit desselben, feine Structuren in dem mikroskopischen Bilde wiederzugeben. Diese Fähigkeit ist nun, wie § 72—75 besprochen wurde, der Apertur der betreffenden Objective direct proportional. Allerdings hängt die Sichtbarkeit feinerer Structuren natürlich auch von dem Correctionsgrade des Objectives ab und man wird also nach Bestimmung des Oeffnungswinkels zweckmässig auch das Auflösungsvermögen des Mikroskops einer directen Prüfung unterziehen. Wenn man nicht über eine Nobert'sche Probeplatte verfügt, die eine Anzahl von verschieden engen Streifensystemen in Glas geritzt enthält, so benutzt man hierzu zweckmässig natürliche Testobjecte, wie sie namentlich durch die Schuppen der Schmetterlingsflügel und die Kieselschalen der Diatomeen geliefert werden. Ich verzichte hier auf eine ausführliche Beschreibung dieser Objecte und will mich auf die Wiedergabe einer von Dippel (I, 408) herrührenden Tabelle beschränken, in der eine Anzahl von Probeobjecten, nach der Feinheit der auf denselben sichtbaren Structuren geordnet, mit Angaben über die Entfernung der Streifen und die zur Auflösung derselben erforderlichen numerischen Aperturen zusammengestellt ist.

U.S. Patent Office

Natürliche Probeobjecte		Zur Auflösung erforderliche numerische Aperturen		Nobert'sche Probeplatte mit 19 Gruppen	
Name der Probeobjecte	Entfernung der Streifen in μ	bei geradem Lichte	bei schiefem Lichte	Gruppe	Entfernung der Linien in μ
Navicula nobilis	1·90	0·15		1	
Navicula viridis	1·33	0·20		2	1·50
Nitzschia Brebissonii	1·00	0·25		3	1·12
Synedra pulchella	0·83	0·35		4	0·90
Stauroneis Phoenicentron Pleurosigma balticum	0·70	0·45	0·40	5	0·75
Nitzschia hungarica Pleurosigma attenuatum Grammatophora marina	0·62	0·55	0·45	6	0·64
Nitzschia amphioxys Grammatophora serpentina	0·55	0·65	0·50	7	0·56
Nitzschia sigma	0·50	0·75	0·55	8	0·50
Grammatophora oceanica Nitzschia paradoxa	0·46	0·85	0·60	9	0·45
Surirella gemma (Querstreifen)	0·41	1·00	0·65	10	0·41
Grammatophora macilenta Nitzschia sigmoidea	0·38	1·05	0·70	11	0·37
„ obtusa	0·36	1·15	0·75	12	0·34
„ linearis Navicula rhomboides	0·33	1·30	0·85	13	0·32
Nitzschia vermicularis „ tenuis	0·31	1·40	0·90	14	0·30
„ palea „ vermicularis (klein)	0·29		0·95		
„ curvula Navicula rhomboides var. saxonica	0·28		1·00	15	0·28
Grammatophora subtilissima	0·26		1·05	16	0·26
Amphipleura pellucida	0·25		1·10	17	0·25
„ „ (klein)	0·24		1·15 1.25	18 19	0·24 0·22

§ 189. Besonders hervorheben möchte ich jedoch nochmals, dass ja allerdings bei den stärksten Systemen in erster Linie auf das Auflösungsvermögen Gewicht zu legen ist; bei den mittleren Systemen können aber doch die mit den grossen Oeffnungswinkeln verbundenen Abbildungsfehler namentlich am Rande des Gesichtsfeldes sehr störend wirken und zu der Wahl von Systemen mit etwas geringerer Apertur und entsprechend geringerem Auflösungsvermögen veranlassen. So wird man auch z. B. bei gewöhnlichen histologischen Untersuchungen den Zeiss'schen Systemen A, B, C etc. trotz der geringeren Apertur vor den Systemen AA, BB, CC etc. den Vorzug geben.

III. Die mikroskopischen Nebenapparate und deren Anwendung.

I. Das Zeichnen mikroskopischer Objecte.

§ 190. Obwohl die Mikrophotographie in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht hat, ist dieselbe doch nur in einer beschränkten Zahl von Fällen imstande, mit der Zeichnung erfolgreich zu concurrieren, und es kann auch kein Zweifel darüber bestehen, dass die mikroskopischen Zeichnungen der Photographie gegenüber stets ihren Wert behalten werden. In allen Fällen, wo es sich um grosse Genauigkeit handelt, wird man nun aber zum Entwerfen derartiger Zeichnungen einen am Mikroskop anzubringenden Zeichenapparat benutzen, der überdies auch dem im Zeichnen völlig Ungeübten möglich macht, in allen Details richtige Zeichnungen anzufertigen. Das Princip der meisten derartigen Apparate, für die namentlich in der älteren Literatur der Ausdruck Camera lucida gebraucht wird, beruht nun darauf, dass auf den gleichen Theilen der Netzhaut des Auges gleichzeitig von dem mikroskopischen Bilde und von einer ausserhalb des Mikroskopes gelegenen Ebene, der Zeichenebene, ein deutliches Bild erzeugt wird. Namentlich für schwache Vergrösserungen wurden jedoch in neuester Zeit auch Apparate construiert, durch die in die Zeichenebene ein reelles Bild von dem betreffenden Objecte projiciert wird. Diese Apparate sind nun allerdings zum grössten Theil so construiert, dass sie gar nicht an dem Mikroskop angebracht werden können, sondern einen Apparat für sich darstellen. Der gleichartigen Bestimmung halber sollen dieselben aber dennoch im Anschluss an die speciell zur Anbringung an dem Mikroskop bestimmten Zeichenapparate besprochen werden.

§ 191. Bevor ich jedoch hierzu übergehe, will ich gleich an dieser Stelle erwähnen, dass man zur Bestimmung der Vergrösserung einer mit einem beliebigen Zeichenapparate ausgeführten Zeichnung in der Weise verfährt, dass man, ohne sonst an der Einstellung des Apparates etwas zu ändern, an Stelle des gezeichneten Präparates bei sehr schwachen Vergrösserungen einen gewöhnlichen Maasstab, bei stärkeren aber einen

Objectivmikrometer bringt und diesen dann in der gleichen Ebene wie vorhin das Präparat abzeichnet. Das Verhältnis zwischen den auf der so erhaltenen Zeichnung gemessenen Dimensionen und den entsprechenden des benutzten Maasstabes gibt dann offenbar direct die Vergrösserung an. Um bei dieser Methode möglichst genaue Resultate zu erhalten, zeichnet man natürlich zweckmässig einen möglichst grossen Theil des betreffenden Maasstabes ab und nimmt aus den so gefundenen Werten das Mittel.

§ 192. Ferner will ich gleich noch an dieser Stelle hervorheben, dass der Anfänger im allgemeinen gut thut, seine Zeichnungen bei ralativ starker Vergrösserung auszuführen. Es ist so meist bedeutend leichter die verschiedenen Details richtig darzustellen. Ausserdem ist es ja auch für viele der zur Zeit üblichen Vervielfältigungsverfahren, namentlich für die Zinkographie, sehr zweckmässig, wenn die betreffenden Zeichnungen in grösserem Maasstabe ausgeführt sind, so dass sie bei der mechanischen Uebertragung auf die Zinkplatte oder dgl. entsprechend verkleinert werden können.

a) Die am Mikroskop anzubringenden Zeichenapparate.

§ 193. Um uns zunächst die bei diesen Apparaten stattfindende Uebereinanderlagerung zweier Bilder auf der Netzhaut des Auges klar zu machen, wollen wir uns, wie in Fig. 84, in geringer Entfernung vom Auge einen Spiegel SS_1 derartig angebracht denken, dass derselbe gerade die Hälfte des Auges verdeckt und mit der Augenachse AA_1 einen Winkel von 45^0 bildet. In diesem Falle werden im Auge einerseits Strahlen vereinigt, die von der unter dem Auge befindlichen Ebene $B_1 A_1 C_1$ ausgehen und andererseits auch solche, die von der auf $B_1 C_1$ senkrecht stehenden Ebene $C_2 A_2 B_2$ ausstrahlen, vorausgesetzt dass $S A_1 = S A_2$ und dass das betreffende Auge auf diese Entfernung accommodiert ist. Es ist aus obiger Figur auch leicht ersichtlich, dass auf ein und denselben Punkt der Netzhaut von beiden Flächen ausgehende Strahlenkegel vereinigt werden. So werden ja nach dem auf der Augenachse gelegenen Punkte A von A_1 und von A_2 ausgehende Strahlenkegel gelangen müssen und ebenso erzeugen die von den Punkten B_1 und B_2 (resp. C_1 und C_2) ausgehenden Strahlen gleichzeitig in B (resp. C) ein Bild auf der Netzhaut.

Es ist nun übrigens aus obiger Construction ferner noch ersichtlich, dass der Oeffnungswinkel der von C_1, A_1 und B_1 (resp. C_2, A_2 und B_2) ausgehenden Strahlenkegel keineswegs der gleiche ist, und es würden also auch bei einer derartigen Construction des Apparates die verschiedenen Theile der Bild- und Zeichenebene verschieden hell erscheinen. Uebrigens

werden wir auf diesen Punkt noch bei der speciellen Besprechung der verschiedenen Zeichenapparate zurückkommen.

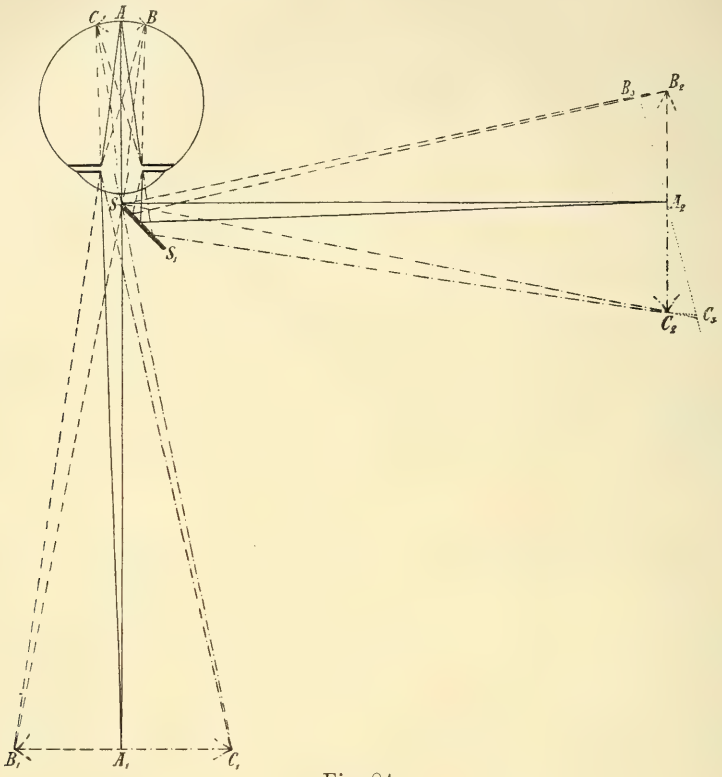


Fig. 84.

§ 194. Zuvor wollen wir aber noch kurz erörtern, welche Entfernung und Richtung die Zeichenebene besitzen muss, damit die in dieser entworfene Zeichnung mit dem mikroskopischen Bilde auch wirklich vollständig übereinstimmt. Was nun zunächst den ersteren Punkt anlangt, so leuchtet wohl ohne weiters ein, dass von der Zeichenebene und dem mikroskopischen Bilde nur dann gleichzeitig ein scharfes Bild auf der Netzhaut erzeugt werden kann, wenn beide in der Entfernung der deutlichen Sehweite liegen. Nur dann werden ja beide Flächen gleichzeitig und ohne eine Accommodationsthätigkeit des Auges nöthig zu machen auf der Netzhaut abgebildet. Hat man also das Mikroskop durch entsprechende Einstellung auf diese Entfernung gebracht, so muss man das Gleiche auch mit der Zeichenebene ausführen. Bei erheblich kurzsichtigen Augen wird es sich aber empfehlen, um die Zeichenebene nicht allzusehr annähern zu müssen, entweder bei der Zeichnung eine Brille zu benutzen oder eine entsprechende Linse in den Gang der Lichtstrahlen einzuschalten.

§ 195. Bezüglich der Richtung der Zeichenebene leuchtet nun wohl zunächst aus Fig. 84 ohne weiters ein, dass dieselbe auf dem Achsenstrahl S A_2 in der gleichen Weise senkrecht stehen muss, wie die Bildebene B_1 C_1 auf dem Strahle S A_1. Denn wenn die Zeichenebene mit dieser Senkrechten z. B. den Winkel B_2 A_2 B_3 bildete und also in die Ebene B_3 C_3 fiele, so würde ja offenbar, ganz abgesehen von der unvollkommeneren Strahlenvereinigung, eine gewisse Verzerrung des mikroskopischen Bildes eintreten müssen. Während nämlich die Entfernung A_1 C_1 im mikroskopischen Bilde gleich A_1 B_1, würde in der Zeichnung offenbar A_2 B_3 kleiner sein als A_2 C_3.

Aus dem gleichen Grunde muss nun aber auch nach der bei den meisten Zeichenapparaten stattfindenden zweimaligen Spiegelung die Zeichenebene auf dem axialen Strahle senkrecht stehen, und es frägt sich nun, welche Richtung dieser Strahl besitzt, wenn wir die Neigung der beiden spiegelnden Flächen variieren lassen.

Nehmen wir nun einmal an, die erste spiegelnde Fläche (S_1 S_1, Fig. 85) wäre unter einem Winkel x gegen die Verticale B C geneigt

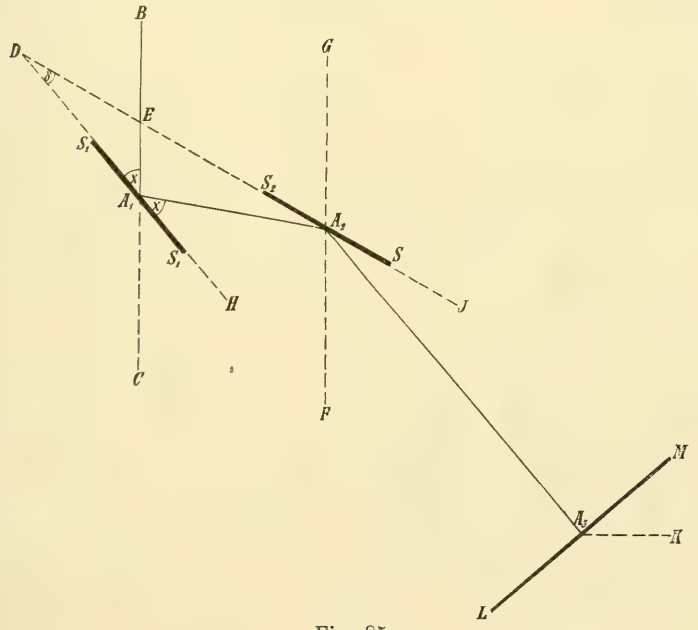


Fig. 85.

und es bilde ferner die zweite spiegelnde Fläche (S_2 S_2) mit der ersten den Winkel A_1 D A_2 = δ. Der Winkel (F A_2 J), den die Richtung der zweiten spiegelnden Fläche (D J) mit der Verticalen G F bildet, ist dann offenbar = x + δ. Es folgt dies z. B. daraus, dass der gleiche Winkel

C E J Aussenwinkel an dem Dreieck D E A_1 ist, in dem die beiden anderen Winkel nach der Definition die Werte x und δ besitzen. Nun ist aber nach dem Reflexionsgesetze der Winkel H A_1 A_2 = B A_1 D = x und es folgt somit aus dem Dreieck D A_1 A_2, dass der Winkel D A_2 A_1 gleich ist dem Aussenwinkel A_2 A_1 H weniger den Winkel A_2 D A_1 oder gleich x — δ. Nach dem Reflexionsgesetz ist nun ferner J A_2 A_3 = D A_2 A_1 und folglich ebenfalls = x — δ. Wir erhalten somit für den Winkel F A_2 A_3 = F A_2 J — A_3 A_2 J den Wert x + δ — (x — δ) = 2 δ. Mithin bildet der Strahl A_2 A_3 mit der Verticalen den Winkel 2 δ. Den gleichen Winkel muss nun aber offenbar die Zeichenebene L M mit der Horizontalen A_3 K bilden, wenn sie auf A_2 A_3 senkrecht stehen soll.

Als Resultat erhalten wir also aus obigen Deductionen, dass der Winkel, den die Zeichenebene gegen die Horizontale besitzen muss, von dem Winkel, den die spiegelnden Flächen mit der Verticalen bilden, der Grösse, x Fig. 85, ganz unabhänging ist, dass derselbe ausschliesslich durch die Neigung der spiegelnden Flächen gegeneinander (den Winkel δ) bestimmt wird, und zwar muss die Zeichenebene mit der Horizontalen einen doppelt so grossen Winkel bilden, wie die spiegelnden Flächen miteinander. Horizontal kann die Zeichenebene somit nur dann sein, wenn die beiden spiegelnden Flächen einander parallel sind. Da nun aber ferner bei verticaler Richtung des Centralstrahles A_2 A_3 die Mitte der zweiten spiegelnden Fläche offenbar senkrecht über der Mitte der Zeichenebene stehen muss, so leuchtet ein, dass sich bei dieser Methode der zweite Spiegel in einem relativ grossen Abstande vom Mikroskop befinden muss. Ist dies nicht der Fall, wie z. B. bei dem Fig. 89 abgebildeten Apparate, so ist bei Benutzung desselben eine Neigung des Strahles A_2 A_3 und somit auch eine Schiefstellung der Zeichenebene nothwendig.

§ 196. Von grosser Bedeutung ist es schliesslich für die gleichzeitige Sichtbarkeit der Zeichenebene und des mikroskopischen Bildes, dass die Helligkeit derselben in der entsprechenden Weise ausgeglichen wird. Da nun aber natürlich das mikroskopische Bild im allgemeinen um so heller ist, je geringer die angewandte Vergrösserung, so wird man auch meistens bei schwachen Vergrösserungen durch möglichst weitgehende Verkleinerung der Blendung, Schrägstellung des Spiegels, Einschaltung von Rauchgläsern oder dgl. die Helligkeit desselben vermindern müssen. Umgekehrt wird man bei stärkeren Vergrösserungen in manchen Fällen durch entsprechende Beschattung, eingeschaltete Rauchglässer oder dgl. eine Verdunklung der Zeichenebene bewirken müssen. Uebrigens wird der Anfänger jedenfalls gut thun, sich von der Wirkungsweise der verschiedenen Beleuchtungsstärken durch entsprechende Variierung derselben durch eigene Anschauung zu überzeugen; es wird dann relativ leicht gelingen,

in jedem speciellen Falle eine geeignete Ausgleichung der Beleuchtungsstärken der Zeichenebene und des mikroskopischen Bildes ausfindig zu machen.

Nach den obigen Bemerkungen dürfte nun das Verständnis der verschiedenen Zeichenapparate keine Schwierigkeiten mehr bieten. So will ich mich denn auch auf die Besprechung einiger Constructionsarten, die mir zur Zeit am meisten in Gebrauch zu sein scheinen, beschränken.

§ 197. Der Abbe'sche Zeichenapparat besass ursprünglich die in Fig. 86 dargestellte Construction und wurde mit Hilfe der an der

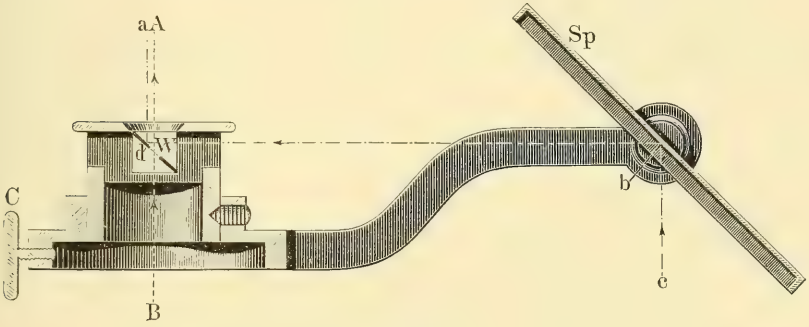


Fig. 86.

linken Seite befindlichen Schraube (C) über dem Ocular befestigt. Die Vereinigung der vom mikroskopischen Bilde und von der Zeichenebene ausgehenden Strahlen geschieht in diesem Falle mit Hilfe des Glaswürfelchens (W), das aus zwei Glasprismen besteht, die durch eine durch ein centrales kreisrundes Loch unterbrochene Silberschicht voneinander getrennt sind. Durch das Loch der Silberschicht gelangen nun die vom mikroskopischen Bilde ausgehenden Strahlen in der durch Pfeile angedeuteten Richtung bei (A) ins Auge. Der Apparat ist zu diesem Zwecke so anzubringen, dass jenes Loch mit der Austrittspupille des Mikroskopes (cf. § 87), in der ja die aus dem Ocular austretenden Strahlen auf den kleinsten Raum zusammengedrängt sind, zusammenfällt. Es erscheint dann natürlich das ganze Sehfeld des Mikroskops gleichmässig beleuchtet, und es findet auch beim Durchtritt durch den Apparat nur ein sehr geringer Lichtverlust statt.

Die von der Zeichenebene ausgehenden Strahlen (c b), die durch Reflexion an dem Spiegel (Sp) auf die Hypothenusenfläche des Glaswürfels (W) gelangen, werden von dem spiegelnden Theile derselben ins Auge reflectiert und gelangen so in der Richtung d a auf die gleiche Stelle der Netzhaut wie das mikroskopische Bild. Da nun die Hypothenusenfläche des Glaswürfels mit der Verticalen einen Winkel von 45°

bildet, so muss nach § 195 der äussere Spiegel offenbar die gleiche Neigung besitzen, wenn auf horizontaler Zeichenebene gezeichnet werden soll.

In neuerer Zeit hat nun übrigens dieser Apparat verschiedene Verbesserungen erfahren. So stellt zunächst Fig. 87 die neueste Zeiss'sche Construction des Abbe'schen Zeichenapparates dar. An demselben lässt sich, wie aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, das Prismengehäuse sammt Spiegel mittels Charniers in der Richtung des Pfeiles zurückklappen, so dass man den Apparat jederzeit leicht ein- und ausschalten kann,

Ferner lassen sich zwischen dem Spiegel und dem Glaswürfel 2 Rauchgläser einschalten, die dazu dienen, erforderlichenfalls die von der Zeichenfläche ausgehenden Strahlen abzuschwächen. Auf Vorschlag von Bernhard (I) wurde übrigens neuerdings von Zeiss ein Apparat construiert, in dem an der gleichen Stelle zwei drehbare Scheiben, die je 4 verschieden dunkle Rauchgläser tragen, angebracht sind und ausserdem auch zwischen dem Ocular und Beleuchtungsapparate eine ähnliche Scheibe eingeschaltet ist. In dieser Weise ist natürlich mit grosser Leichtigkeit eine sehr weitgehende Regulierung der Beleuchtung auszuführen.

Ein weiterer Vortheil des in Fig. 87 abgebildeten Apparates besteht darin, dass bei ihm der Spiegel eine bedeutendere Grösse besitzt

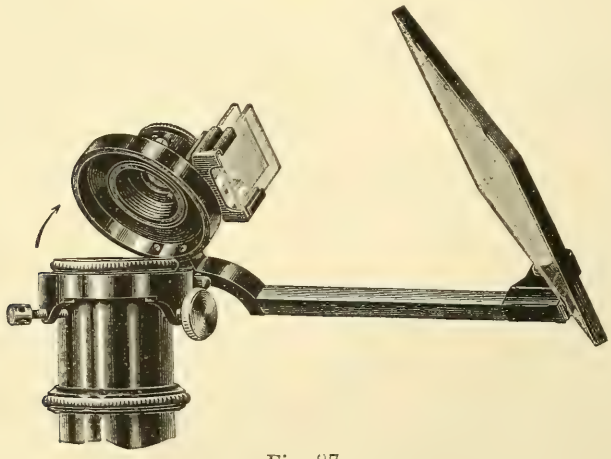


Fig. 87.

und sich an einem längeren Arme befindet. Es wird hierdurch ermöglicht, dass derselbe selbst bei grosser Ausdehnung des Bildes so gestellt werden kann, dass beim Zeichnen auf horizontaler Zeichenfläche keine Verzerrung des Bildes stattfindet. Der einzige Mangel, den dieser Apparat

noch besitzt, dürfte darin bestehen, dass der Spiegel nicht entweder einfach unter einer Neigung von 45° fest mit dem Arme verbunden ist, oder wenigstens bei der Drehung diejenige Lage, in der dies der Fall ist, durch Einschnappen einer Feder oder drgl. deutlich markiert ist, so dass man darüber nicht in Zweifel sein kann, ob man auch wirklich den Spiegel so gerichtet hat, dass beim Zeichnen auf horizontaler Ebene keine Verzerrung des mikroskopischen Bildes eintritt.

§ 198. Eine solche Einschnappvorrichtung findet sich z. B. an dem von Henking (I) beschriebenen Zeichenapparate von R. Winkel (cf. Fig. 91), der auch noch dadurch ausgezeichnet ist, dass er eine verticale Verschiebung des Apparates gestattet, so dass eine genaue Einstellung des Prismas auf die Austrittspupille des Mikroskops, die ja bekanntlich bei verschiedenen Ocularen einen verschiedenen Abstand von diesem besitzt, möglich ist.

§ 199. Der in Fig. 88 dargestellte Zeichenapparat von C. Reichert in Wien beruht im wesentlichen auf dem gleichen Princip

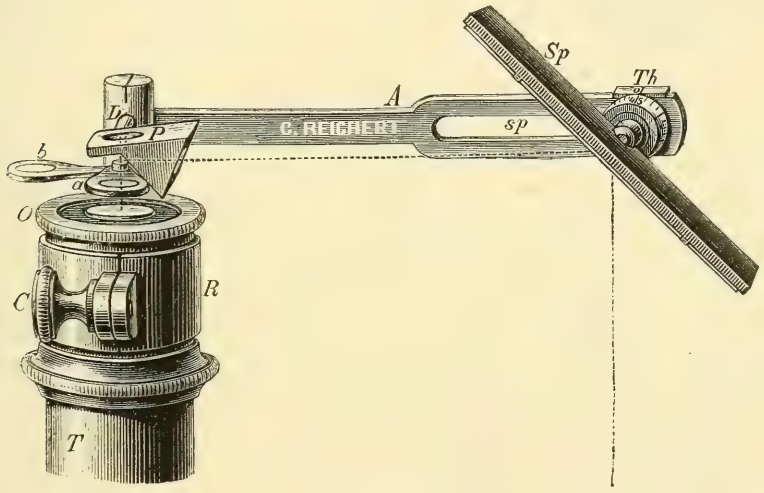


Fig. 88.

wie der Abbe'sche, und es ist auch wohl der in demselben stattfindende Strahlenverlauf aus den in der Figur gestrichelten Linien ohne weiteres ersichtlich. Der Spiegel (Sp) ist hier an dem langen Arme A verschiebbar und es kann ferner in sehr zweckmässiger Weise an der bei Th befindlichen Scala die Neigung desselben direct abgelesen werden. Mit den Armen a und b können blaue Gläser zur Abdämpfung des von dem mikroskopischen Bilde kommenden Lichtes eingeschaltet werden. Zur Einstellung auf die Austrittspupille des Mikroskops ist ferner das Prisma P in dem Cylinder D verschiebbar. Ebenso gestattet die Hülse R eine

verticale Verschiebung am Mikroskoptubus; nach der Einstellung wird dieselbe dann mit Hilfe der Schraube C in der richtigen Lage fixiert. Der ganze Apparat ist schliesslich an einem in der Zeichnung durch das Ocular verdeckten Stift drehbar, so dass er jederzeit leicht ausgeschaltet werden kann.

§ 200. Die in Fig. 89 dargestellte kleinere Camera lucida von Zeiss enthält zwei Prismen, deren Grösse und Orientierung aus dem

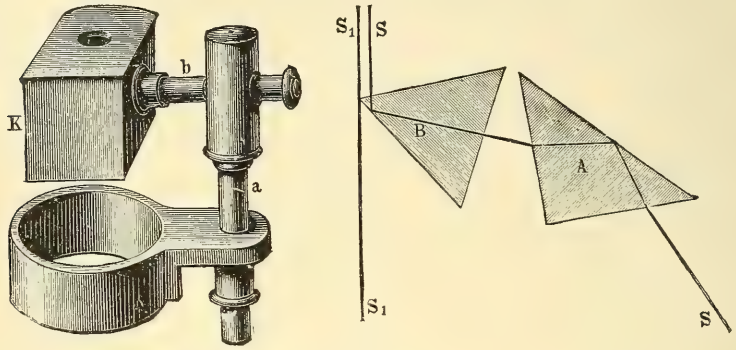


Fig. 89.

nebenstehenden Schema ersichtlich ist. Diese Prismen stecken nun in einer Metallhülse (K), die auf der Oberfläche eine kreisförmige Oeffnung besitzt, die zur Hälfte durch das Prisma B bedeckt wird. Der Apparat ist mit Hilfe der bei a und b befindlichen Arme, die in ihren federnden Hülsen sowohl drehbar als auch in der Längsrichtung verschiebbar sind, derartig einzustellen, dass das kreisförmige Loch in der oberen Fläche der Metallhülse mit der Austrittspupille des Mikroskops zusammenfällt. Die obere Fläche des Apparats ist dabei in eine etwas geneigte Lage zu bringen. Bringt man nun das Auge dicht über jene Oeffnung, so sieht man durch die freie Hälfte derselben auf das mikroskopische Bild (entsprechend dem Strahl $S_1 S_1$, Fig. 89), durch die vom Prisma verdeckte Hälfte der Oeffnung sieht man aber in der aus der Figur ersichtlichen Weise nach zweimaliger Reflexion an den geneigten Wänden der Prismen B und A nach der Zeichenebene.

Da die beiden spiegelnden Flächen bei diesem Apparate einander nicht parallel laufen, ist bei Benutzung desselben nach § 195 eine Neigung der Zeichenfläche nothwendig, und zwar muss dieselbe ca. 20° betragen. Ein weiterer Uebelstand dieses Apparates besteht darin, dass die Helligkeit des Gesichtsfeldes aus ähnlichen Gründen wie in dem § 193 angenommenen Schema nicht in allen Theilen des mikroskopischen Bildes und der Zeichenfläche dieselbe ist. Trotzdem dürfte sich dieser Apparat

wegen seiner Einfachheit und leichten Ein- und Ausschaltung, die natürlich durch Drehung am Zapfen a bewirkt wird, gegenüber den vorstehend beschriebenen Apparaten eine gewisse Beliebtheit bewahren, namentlich dann, wenn es sich um kleinere Zeichnungen oder einfache Skizzen handelt.

§ 201. Der früher sehr häufig angewandte Oberhäuser'sche Zeichenapparat (Fig. 90) unterscheidet sich von den bisher bespro-

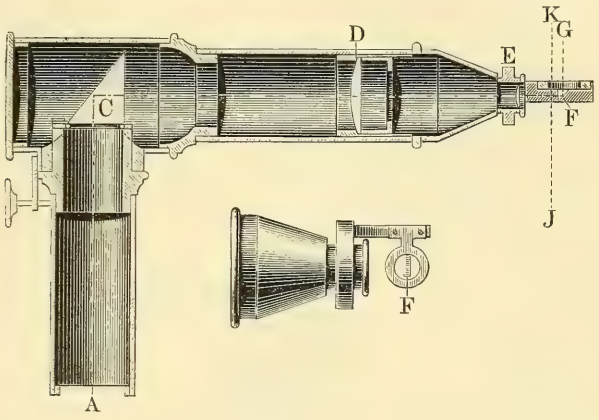


Fig. 90.

chenen in erster Linie dadurch, dass er das mikroskopische Bild nach zweimaliger Reflexion ins Auge gelangen lässt, während die Zeichenfläche direct beobachtet wird. Derselbe wird mit der Röhre A an Stelle des Oculars in den Tubus des Mikroskops eingeschoben und mit der auf der linken Seite der Figur sichtbaren Schraube fixiert. Es gelangt dann der vom Mikroskop ausgehende Strahlenkegel durch Reflexion an dem Prisma C nach dem horizontal stehenden Ocular, das durch die bei D und E befindlichen Linsen gebildet wird, und von hier aus auf das kleine Prisma F, das dann das Licht in der Richtung nach G in das oberhalb desselben befindliche Auge reflectiert. Das Prisma F befindet sich nun aber, wie die in Fig. 90 rechts unten dargestellte Ansicht von oben her erkennen lässt, unterhalb eines ringförmigen Metallplättchens, dessen Oeffnung nur zum Theil von dem Prisma verdeckt wird. Es ist somit möglich, dass man an dem Prisma vorbei in der Richtung K J direct auf die Zeichenebene sieht.

Da bei diesem Apparate beide spiegelnden Flächen einen Winkel von 45° gegen die Verticale bilden, findet natürlich die Zeichnung auf horizontaler Ebene statt, auch gibt derselbe sehr scharfe Bilder. Auf der anderen Seite ist jedoch die Benutzung desselben so umständlich, dass er wohl mit der Zeit mit Recht von den zuvor besprochenen Apparaten ganz verdrängt werden dürfte.

b) Die Apparate zum Zeichnen bei schwachen Vergrösserungen.

§ 202. Das Zeichnen bei sehr schwachen Vergrösserungen ist bei Anwendung des gewöhnlichen Mikroskops mit verschiedenartigen Uebelständen verbunden. In neuerer Zeit wurden deshalb vielfach die oben beschriebenen Zeichenapparate so eingerichtet, dass sie auch an den gewöhnlichen Präpariermikroskopen angebracht werden können, was jedenfalls für viele Fälle sehr zweckmässig ist. Ausserdem wurden aber noch verschiedene speciell für schwächere Vergrösserungen bestimmte Zeichenapparate construiert, von denen im folgenden die drei am meisten gebräuchlichen beschrieben werden sollen.

§ 203. Der neuerdings von Behrens (I, 289) beschriebene Apparat von R. Winkel besteht, wie Fig. 91 zeigt, aus der auf einem Hufeisen-

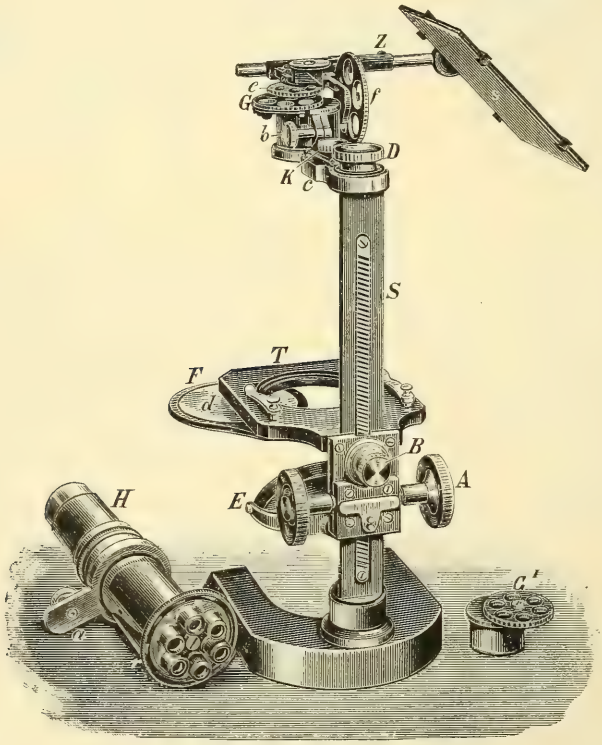


Fig. 91.

fuss ruhenden Säule S, an der zunächst mit der Schraube A der Objecttisch T und der Beleuchtungsspiegel E bewegt werden können. Nach der Einstellung werden dieselben dann durch Anziehen der Schraube B arretiert. Der Objecttisch ist noch dadurch ausgezeichnet, dass er, um das

Zeichnen sehr grosser Präparate zu gestatten, einen entsprechend grossen Ausschnitt besitzt; durch Zurückklappen des Trägers F lässt sich aber auch die matte Glasplatte d unter diesen Ausschnitt bringen, so dass eine gleichmässige weisse Beleuchtung des ganzen Gesichtsfeldes bewirkt wird.

Am oberen Ende der Säule befindet sich nun der optische Apparat, der mit schwalbenschwanzartiger Führung in den drehbaren und durch die Schraube D fixierbaren Träger c eingeschoben und mit der Schraube K festgestellt werden kann. Zur Vergrösserung dienen einerseits einfache Lupen, die in der Scheibe G revolverartig angebracht sind und zwar sind dem Apparate zwei derartige Einsatzstücke, von denen jedes, wie auch aus der Darstellung eines isolierten Einsatzstückes bei G' hervorgeht, 6 verschiedene Linsen trägt, beigegeben. Es werden auf diese Weise Vergrösserungen von 1·7 bis 10 erreicht. Für stärkere Vergrösserungen wird in den Träger c der Mikroskoptubus H mit Hilfe des Zapfens a eingeschoben, derselbe trägt an seinem unteren Ende bei r ebenfalls 6 Objectivsysteme, die Vergrösserungen von 12 bis 38 gestatten. Speciell zum Zeichnen dient schliesslich der bereits § 198 erwähnte Winkel'sche Zeichenapparat, der bei e und f Blendscheiben besitzt, die zur Abschwächung des von dem zu zeichnenden Objecte oder von der Zeichenebene kommenden Lichtes dienen.

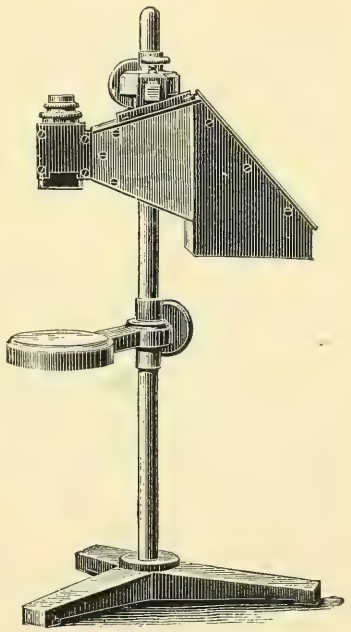


Fig. 92.

§ 204. Bei der nach Angaben von Thoma (I) von R. Jung (Heidelberg) construierten Camera lucida, die in Fig. 92 in der Totalansicht, in Fig. 93 im schematischen Längsschnitt dargestellt ist, befindet sich bei A ein unter 45° geneigtes Deckglas, in C ein unter dem gleichen Winkel geneigter Silberspiegel. Das von E her in den Apparat hineinsehende Auge sieht infolge dessen einerseits direct nach unten auf das Object F und unter zweimaliger Spiegelung auf die Zeichenebene G. Zur Hervorbringung der verschiedenen Vergrösserungen werden ferner bei B und D Linsen eingeschaltet, und zwar wählt Thoma dieselben so, dass die Object- und Zeichenebene genau in die Brennpunkte der betreffenden Linsen fallen, so dass also ein über dem Apparat befindliches Auge die beiden Ebenen gleichzeitig scharf sieht, wenn es auf unendlich

eingestellt ist. Will man also z. B. bei doppelter Vergrösserung zeichnen, so schiebt man bei b eine Linse von doppelt so grosser Brennweite in den Apparat als bei d und reguliert auch entsprechend die Abstände. Natürlich ist hierbei auch die Strecke A C in Rechnung zu bringen; dieselbe beträgt bei diesem Apparate genau 10 *cm*.

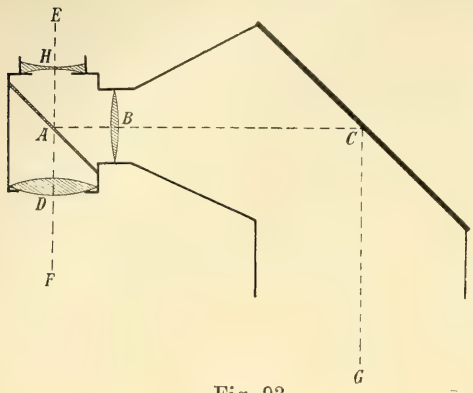


Fig. 93.

Für Augen, die nicht ohne Anstrengung oder überhaupt nicht auf Unendlich eingestellt werden können, ist bei H eine entsprechende Concavlinse einzuschalten, die beide Bilder gleichzeitig in die deutliche Sehweite bringt. Ferner ist ausser bei schwachen Vergrösserungen auf die Linse H zur Verhinderung parallactischer Verschiebungen der beiden Bilder ein Diopter aufzusetzen und eventuell zur Ausgleichung der Helligkeit der beiden Bilder bei B oder D ein Rauchglas einzuschalten. Der Apparat ist namentlich für Vergrösserungen bis 10 bestimmt, gestattet aber auch Verkleinerungen bis zu $^1/_6$. In letzterem Falle und auch bei Vergrösserungen unter 2 wird derselbe übrigens umgekehrt, so dass man direct durch die Linse D auf die Zeichenebene und durch B nach Reflexion am Spiegel C nach dem zu zeichnenden Objecte hinsieht.

§ 205. Auf wesentlich anderen Principien beruht der auf Veranlassung von Edinger (I) von E. Leitz construierte Zeichenapparat (cf. Fig. 94), der neuerdings gleichzeitig mit einer Vorrichtung zu mikrophotographischen Aufnahmen versehen ist. Bei demselben wird durch den rechtwinkelig geknickten Tubus A, der an beiden Enden mit einer Convexlinse abgeschlossen und an der Knickungsstelle mit einem unter 45° geneigten Spiegel versehen ist, das von der Lampe L ausgehende Licht auf das auf dem Träger B ruhende Object geworfen, und es erzeugt dann die Linse C in der Ebene des Tisches T ein reelles Bild von dem betreffenden Objecte.

Um nun aber eine beliebige Variierung der Vergrösserung zu gestatten, ist der zum Halten des Präparats bestimmte Träger B mit Hilfe der bei a a befindlichen Handhaben beweglich. Die zur Einstellung des Linsensystems erforderliche verticale Verschiebung geschieht durch Zahn und Trieb vermittels der bei b sichtbaren Schraube. Zur Regulierung der Beleuchtung ist einerseits die an dem kurzen Arme des Cylinders A befindliche Linse mit Hilfe der Schraube c verschiebbar, andererseits

enthalten die beigegebenen Linsensysteme eine Irisblendung, die mit Hilfe des bei d sichtbaren Griffes erweitert und verengert werden kann. Um scharfe Bilder von grösserer Ausdehnung zu erhalten, muss man

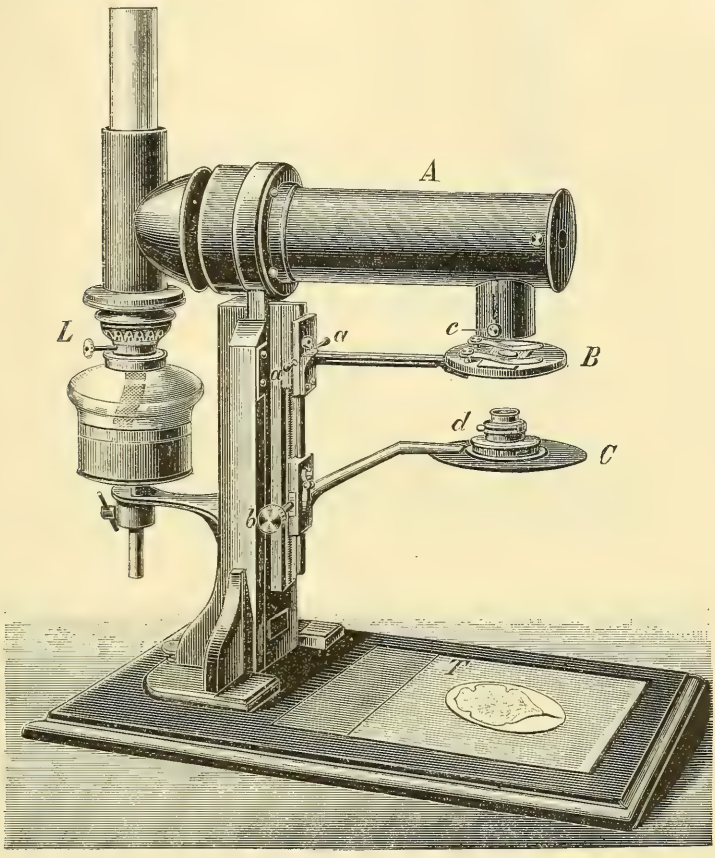


Fig. 94.

im allgemeinen mit sehr geringer Oeffnung der Iris arbeiten. Man wird deshalb auch bei Anwendung stärkerer Vergrösserungen die Zeichnungen zweckmässig am Abend oder in einem künstlich verdunkelten Raume ausführen.

c) Der Zeichentisch für mikroskopische Zwecke.

§ 206. Von mehreren Autoren wurden in neuerer Zeit speciell für mikroskopische Zwecke bestimmte Zeichentische empfohlen. Ich erwähne in dieser Beziehung zunächst den in Fig. 95 abgebildeten Zeichentisch von Giesenhagen (I), der von Seibert in den Handel gebracht wurde.

Derselbe besteht fast ganz aus Holz und gestattet, wie wohl aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, sowohl eine verticale Verschiebung als auch eine Schiefstellung der Zeichenfläche. Das Gleiche gilt auch von

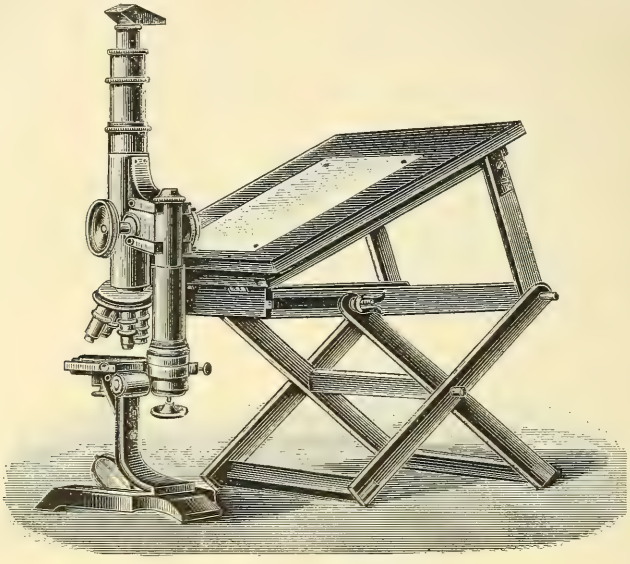


Fig. 95.

dem neuerdings von Bernhard (II) beschriebenen Zeichentische, der sich von dem Giesenhagen'schen ausser durch grössere Stabilität namentlich dadurch unterscheidet, dass die Grundplatte desselben fest mit dem Mikroskop verbunden ist.

Da nun übrigens bei den neueren Zeichenapparaten, ebenso wie bei dem Oberhäuser'schen eine Schiefstellung der Zeichenebene nicht mehr erforderlich ist, dürften wohl, wenn man nicht direct auf dem Arbeitstische zeichnen will, massive im Querschnitt quadratische Holzblöcke eine sehr geeignete Unterlage für die Zeichnungen bilden. Eine unbeabsichtigte Verschiebung derselben wird wohl zur Genüge verhindert, wenn man den betreffenden Klotz dicht an den Mikroskopfuss heranschiebt und die Zeichnung auf demselben mit Heftzwecken befestigt. Will man aber mit dem im § 200 beschriebenen oder einem ähnlichen Zeichenapparate arbeiten, so genügt es im allgemeinen, sich eine unter dem entsprechenden Winkel geneigten Zeichenpult anfertigen zu lassen. Uebrigens soll durch diese Bemerkungen nicht bestritten werden, dass namentlich die bei den oben beschriebenen Apparaten mögliche ganz continuirliche Verticalverschiebung unter Umständen von Vortheil sein kann.

2. Die mikroskopische Messung und Zählung.

a) Die Längenmessung innerhalb der Einstellungsebene.

§ 207. Die Messung der innerhalb der Einstellungsebene des Mikroskops liegenden Dimensionen kann in sehr verschiedener Weise ausgeführt werden. Man wird auch je nach der Beschaffenheit der zu untersuchenden Objecte und der Grösse der zur Verfügung stehenden Mittel bald der einen, bald einer anderen dieser Methoden den Vorzug geben. Im allgemeinen machen jedoch die grossen individuellen Verschiedenheiten der Organismen und ihrer einzelnen Theile eine sehr weitgehende Genauigkeit überflüssig, und es dürfte auch für die meisten Fälle die erste der folgenden Methoden, die unstreitig die einfachste ist, vollkommen ausreichen.

Hinsichtlich der Bezeichnung der Dimensionen mikroskopischer Objecte sei an dieser Stelle sogleich noch erwähnt, dass man zur Zeit gewöhnlich den tausendsten Theil eines Millimeters als Einheit benutzt und als Mikron oder Mikromillimeter, resp. abgekürzt als 1 μ bezeichnet.

1. Messung mit dem Ocularmikrometer.

§ 208. Das Ocularmikrometer besteht im allgemeinen aus einer kreisförmigen Glasplatte (Fig. 96), in die ein feiner etwa in 0·1 *mm* getheilter Maasstab eingeritzt ist. Diese Platte wird nun bei den gewöhnlichen Huyghens'schen Ocularen auf die zwischen Augen- und Collectivlinse befindliche Blendung (cf. Fig. 45, B) gelegt. An dieser Stelle entsteht ja nach § 88 bei normaler Einstellung das von der Collectivlinse des Oculars entworfene Bild des mikroskopischen Objectes, und es wird also auch bei dieser Einstellung das mikroskopische Bild gleichzeitig mit dem Ocularmikrometer auf die Netzhaut des Auges projiciert.

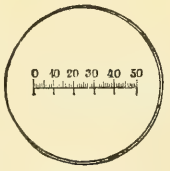


Fig. 96.

Da nun aber bei einem Wechsel der Einstellung auch eine Verschiebung des von der Collectivlinse entworfenen Bildes eintritt (cf. § 92), so leuchtet ein, dass bei einem gewöhnlichen Ocular nur bei einer ganz bestimmten Einstellung die Ocularblendung mit dem von dem Objectiv und der Collectivlinse des Oculars entworfenen Bilde zusammenfällt. Um nun aber die Messung mit dem Ocularmikrometer für beliebige Augen zu ermöglichen, ist bei den speciell für mikrometrische Zwecke bestimmten Ocularen, den „Mess- oder Mikrometerocularen“ (cf. Fig. 97) die Augenlinse in verticaler Richtung verschiebbar. Bei der Benutzung wird nun die Augenlinse zunächst so lange verschoben, bis das von ihr erzeugte Bild des Mikrometers genau in die deutliche Seh-

weite fällt; auf die gleiche Entfernung wird dann auch das Bild des zu messenden Objectes eingestellt.

Die meisten Mikrometeroculare sind ferner auch so eingerichtet, dass sich das äussere Rohr in der Nähe der Blendung, wie auch aus Fig. 97 ersichtlich ist, auseinanderschrauben lässt, so dass ein Herausnehmen des Mikrometers leicht ausführbar ist. Dasselbe soll so orientiert sein, dass die die Scala tragende Fläche nach unten gekehrt ist.

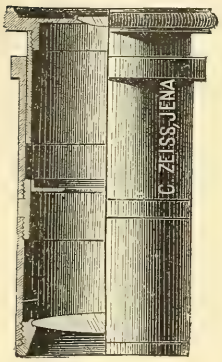


Fig. 97.

§ 209. Da bei dieser Methode das Mikrometer und das mikroskopische Object in ungleicher Weise vergrössert werden, so ist es natürlich nothwendig, die absoluten Werte, welche der Scala des Mikrometers entsprechen, für jedes Object empirisch festzustellen. Man benutzt hierzu ein sogenanntes Objectmikrometer, das meist die Form eines Objectträgers besitzt und eine feine Scala mit etwa 0·1 oder 0·01 *mm* Distanz der Theilstriche enthält. Soll dasselbe auch bei Oelimmersion verwendet werden, so ist die Scala zweckmässig in die nach unten gekehrten Seite eines dünnen Deckgläschens einzuritzen.

Um nun mit Hilfe eines derartigen Objectmikrometers die absoluten Werte des Ocularmikrometers zu ermitteln, wird mit dem letzteren, wie im vorigen Falle auf das zu messende Object, auf das Objectivmikrometer eingestellt, so dass also auf der Netzhaut des Auges die Bilder des Ocular- und Objectivmikrometers zusammenfallen; durch Vergleichung derselben lässt sich dann offenbar der Wert eines Intervalles der Ocularmikrometerscala leicht feststellen; findet man z. B., dass 5 Intervalle des Ocularmikrometers sich mit 1 Intervall des Objectivmikrometers decken, so wird, wenn die Entfernung der Theilstriche bei dem letzteren 0·1 *mm* beträgt, einem Intervall des Ocularmikrometers eine Länge von $\frac{0{\cdot}1}{5}$ *mm* = 0·02 *mm* = 20 μ entsprechen.

Besonders beachtenswert ist nun übrigens, dass die so gefundenen Werte für jedes beliebige Auge gelten, da ja offenbar durch Verschiebung der Augenlinse das Verhältnis der Vergrösserungen von Object und Ocularmikrometer nicht geändert wird; dieses Verhältnis ist ja wenn die Collectivlinse des Oculars und das Mikrometer in constanter Entfernung bleiben, nur von der Entfernung zwischen Objectiv und Ocular, der Tubuslänge, abhängig und muss man natürlich genau darauf achten, dass diese während der Messungen nicht geändert wird.

Wird dagegen die Einstellung auf die Mikrometerscala nicht durch Verschiebung der Augenlinse, sondern durch verticale Verschiebung der Scala bewirkt, wie bei einem von W. Behrens (II) empfohlenen Mikrometerocular von R. Winkel, so tritt natürlich bei einer Aenderung der Einstellung auch eine Aenderung in dem Verhältnis der Vergrösserungen von Object und Mikrometer ein. Aus diesem Grunde müssen denn auch derartig construierte Messoculare als irrationell bezeichnet werden.

§ 210. Die meisten Optiker fügen nun übrigens ihren Mikrometerocularen eine Tabelle bei, die zwar wohl eine für die meisten Messungen ausreichende Genauigkeit besitzen dürfte, aber doch auf alle Fälle zweckmässig in der oben angegebenen Weise controliert wird.

Hat man viele Messungen auszuführen, so kann man sich die nöthigen Umrechnungen dadurch erleichtern, dass man sich eine Tabelle anfertigt, die für die verschiedenen Objective die Werte von 1 bis 10 Intervallen der Mikrometerscala enthält.

§ 211. Bei den Zeiss'schen apochromatischen Systemen sind nun übrigens die verschiedenen in Betracht kommenden Grössen derartig berechnet, dass das in einem Compensationsocular befindliche Mikrometer direct vielfache von einem Mikron angibt und zwar beträgt der Wert eines Intervalles bei einer Tubuslänge von 160 *mm* für jedes Apochromatobjectiv ebenso viele Mikron, als seine auf dem Objectiv angegebene Brennweite Millimeter; so entsprechen also bei Anwendung des Apochromats mit der Brennweite 16 *mm* einem Intervall der Mikrometerscala 16 μ. Eine Werttabelle ist in diesem Falle natürlich überflüssig.

Erwähnen will ich übrigens noch, dass man bei Messungen mit dem Ocularmikrometer die besten Resultate erhält, wenn man nur die Mitte des Gesichtsfeldes zu den Messungen benutzt. Aus diesem Grunde sind denn auch die meisten Ocularmikrometer bereits so eingerichtet, dass der Rand des Gesichtsfeldes von der Scala frei bleibt.

2. Das Ocularschraubenmikrometer.

§ 212. Das Ocularschraubenmikrometer ist an Stelle des gewöhnlichen Ocularmikrometers namentlich bei solchen Objecten mit Vortheil zu verwenden, die einen grossen Theil des Gesichtsfeldes ausfüllen. Das Princip desselben besteht im wesentlichen darin, dass ein in der Ebene des reellen Bildes des Objectes befindliches Fadenkreuz oder dergl. mit Hilfe einer feinen Mikrometerschraube derartig verschoben wird, dass es erst mit dem einen und dann mit dem anderen Rande des zu messenden Objectes, resp. dessen Bildes, zusammenfällt. Eine an der Mikrometerschraube angebrachte Ablesungsvorrichtung gestattet dann die im Ob-

jectivbild vorhandenen Dimensionen zu bestimmen. Um nun aber die absoluten Grössen des Objectes zu erhalten, muss man natürlich, wie bei der im vorigen Abschnitt beschriebenen Messung mit dem gewöhnlichen Ocularmikrometer, für jedes Objectiv mit Hilfe eines Objectivmikrometers die der Einheit des Schraubenmikrometers entsprechenden absoluten Werte feststellen.

§ 213. In der speciellen Ausführung zeigen nun übrigens die von verschiedenen Firmen angefertigten Apparate nicht unbedeutende Verschiedenheiten; dennoch dürfte die Anwendung derselben nach dem Obigen keine Schwierigkeiten bieten, so dass ich an dieser Stelle auf eine nähere Beschreibung umsomehr glaube verzichten zu können, als das Ocularschraubenmikrometer nur noch relativ selten benutzt werden dürfte. Ich will nur noch erwähnen, dass bei der von A. Koch (I) beschriebenen Construction von R. Winkel (I) an Stelle des zur Einstellung dienenden einfachen Fadens ein Ocularmikrometer in der Ebene der Sehfeldblende eingeschaltet ist, so dass dieser Apparat je nach Belieben als gewöhnliches Mikrometer oder auch als Schraubenmikrometer benutzt werden kann.

3. Das Spitzenocular und das Objectivmikrometer.

§ 214. Das Spitzenocular besteht, wie die nach Dippel (I, 643) copierte Fig. 98 zeigt, aus einem gewöhnlichen Ocular, das in der Ebene der Sehfeldblende auf dem gleichen Durchmesser zwei spitz zulaufende Zeiger enthält, die durch Drehung der auf der rechten und linken Seite sichtbaren Schraubenköpfe einander beliebig genähert oder voneinander entfernt werden können. Will man nun das Spitzenocular zum Messen benutzen, so stellt man zunächst die beiden Spitzen möglichst scharf auf die beiden Enden des zu messenden Körpers ein und bringt dann an Stelle des letzteren ein Objectivmikrometer, mit Hilfe dessen man offenbar die Entfernung der Spitzen und somit auch die Länge des zu messenden Körpers direct bestimmen kann.

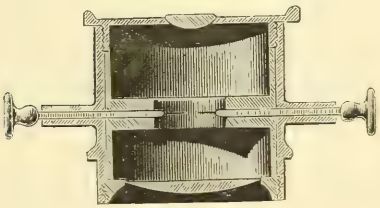


Fig. 98.

Es ist nun bei dieser Methode in der That eine relativ grosse Genauigkeit möglich, auch ist bei derselben natürlich keine Umrechnung der direct abgelesenen Werte erforderlich, immerhin dürfte aber doch namentlich die Nothwendigkeit bei jeder Messung Präparat und Objectivmikrometer gegeneinander auszutauschen der allgemeineren Anwendung des Spitzenoculars zu mikrometrischen Zwecken entgegenstehen. Uebrigens will ich gleich an dieser Stelle erwähnen, dass das Spitzenocular nament-

lich auch bei der Zählung von Streifungen und dergl. oder auch zur Markierung bestimmter Stellen des Gesichtsfeldes zum Zwecke der Demonstration gute Dienste zu leisten vermag.

4. Das Objectschraubenmikrometer.

§ 215. Um mit dem Objectschraubenmikrometer eine Messung auszuführen, stellt man zunächst das eine Ende des zu messenden Objectes genau auf einen im Ocular befindlichen Faden ein und bewegt dann das Präparat mit Hilfe der am Mikrometer befindlichen feinen Schraube so lange, bis das andere Ende des zu messenden Objectes den Faden des Oculars tangiert. Die an der Mikrometerschraube befindlichen Ablesungsvorrichtungen geben dann die Dimensionen des zu messenden Körpers an.

Was nun zunächst das zu derartigen Messungen nothwendige Ocular anlangt, so erwähne ich, dass man den innerhalb desselben befindlichen Faden natürlich nur dann gleichzeitig mit dem mikroskopischen Bilde deutlich zu sehen vermag, wenn sich dasselbe, wie das Ocularmikrometer im Messocular (cf. § 206), in der Ebene der Gesichtsfeldblendung befindet; um das gleiche Ocular für Augen von verschiedener Sehweite nutzbar zu machen, muss also auch die Augenlinse des betreffenden Oculars wie bei dem Messocular in verticaler Richtung verschiebbar sein.

§ 216. Man kann sich nun übrigens derartige mit einem Faden oder Fadenkreuz versehene Oculare, die man z. B. auch sehr gut bei Demonstrationen zur speciellen Bezeichnung bestimmter Stellen des Gesichtsfeldes benutzen kann, nach einer von Welcker (I, 31) herrührenden Vorschrift sehr leicht aus einem jeden beliebigen Ocular anfertigen, indem man die beiden Stellen des Blendungsrandes, von welchem aus ein Faden die Blendungsöffnung durchziehen soll, mit einem Tröpfchen Canadabalsam benetzt und sodann den Knopf einer Stecknadel von der einen dieser Benetzungsstellen zu der anderen hinführt. Es wird so ein trefflicher Faden ausgespannt, dessen Dicke man ganz in der Gewalt hat. Wenn die Fäden zu fein ausfallen, lässt man den Balsam zuvor an der Luft etwas eintrocknen.

§ 217. Hinsichtlich der speciellen Einrichtung des Objectschraubenmikrometers sei auf die Fig. 99, die einen derartigen Apparat aus der optischen Werkstätte von C. Zeiss in Jena in der Aufsicht und im Durchschnitt darstellt, verwiesen. Derselbe kann bei den grösseren Stativen direct auf dem Objecttisch befestigt werden, bei den Stativen mit drehbarem Objecttisch ist dieser zuvor zu entfernen.

Bei diesem Apparate dient nun zunächst die mit Kreistheilung versehene drehbare Scheibe, die sich auf dem von der Mikrometerschraube fortgeführten Schlitten befindet, zur Orientierung des Objects. Die an

der Schraube befindliche Trommel gibt ferner direct 0·002 *mm* an, während die ganzen Umdrehungen an der zifferblattähnlichen Scheibe abgelesen werden können.

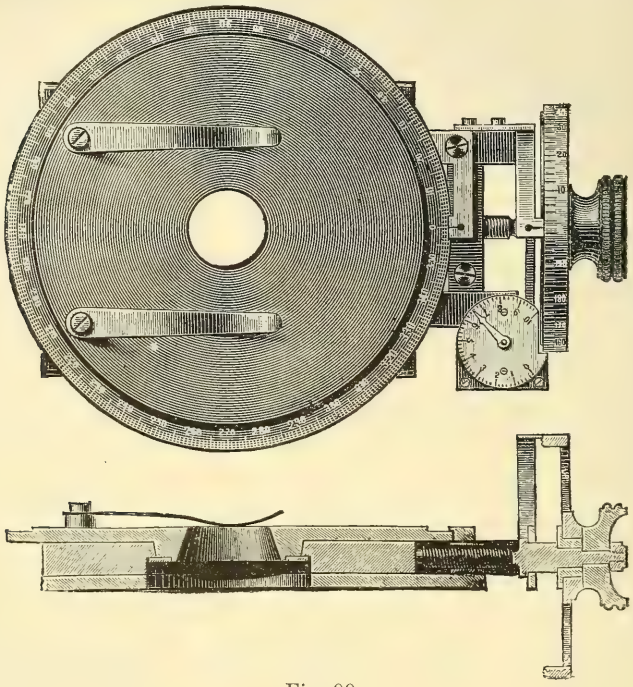


Fig. 99.

Da in diesem Falle mit der Mikrometerschraube direct die Dimensionen des mikroskopischen Objectes gemessen werden, so geben die abgelesenen Werte natürlich, ohne eine Umrechnung zu erfordern, direct die Länge des mikroskopischen Objectes an. Auch lassen sich mit Hilfe eines exact gearbeiteten Objectschraubenmikrometers jedenfalls sehr genaue Messungen ausführen. Der allgemeineren Anwendung desselben steht aber schon der relativ hohe Preis entgegen.

5. Messung mit Hilfe von Zeichnung und Photographierung.

§ 218. Da es mit Hilfe der neueren Zeichenapparate sehr leicht möglich ist, relativ genaue Zeichnungen von den mikroskopischen Objecten anzufertigen, so hat man diese mehrfach auch zu Messungen benutzt. Natürlich muss man aber in diesem Falle mit grösster Sorgfalt darauf achten, dass die Zeichenebene derartig orientiert ist, dass keine Verzerrung des mikroskopischen Bildes eintritt. Ferner ist auch eine genaue Bestimmung der Vergrösserung und eine entsprechende Umrech-

nung der direct gemessenen Werte nothwendig. So dürfte denn auch diese Methode gegenüber der directen Messung mit dem Ocularmikrometer nur in ganz bestimmten Fällen gewisse Vortheile bieten. Es ist dies in erster Linie dann der Fall, wenn es sich um die Messung der Länge einer gebogenen Linie oder dergl. handelt. Diese kann man natürlich an der Zeichnung mit dem Zirkel sehr leicht und mit grosser Genauigkeit ausmessen.

§ 219. Ferner sind die Zeichnungen von mikroskopischen Objecten auch vielfach dazu benutzt worden, um die Dimensionen von unregelmässig gestalteten Flächen zu bestimmen. Man kann diese Messungen mit grosser Genauigkeit mit dem Planimeter ausführen. In vielen Fällen ist aber jedenfalls die von Ambronn (II, 51) u. a. benutzte Methode vorzuziehen, bei der die gesuchte Flächengrösse durch Wägung festgestellt wird. Man verfährt dann in der Weise, dass man die betreffende Fläche bei starker Vergrösserung auf möglichst gleichmässiges Papier aufzeichnet und dann mit der Schere genau ausschneidet. Handelt es sich also z. B. darum die auf den Querschnitt eines Bastbündels kommende Wandfläche zu bestimmen, so würde man die Papierfläche zunächst der äusseren Umgrenzung des Bastbündels entsprechend zuzuschneiden und dann auch dem Lumen einer jeden Zelle entsprechende Löcher in dieselbe hineinzuschneiden haben. Aus dem Gewichte des so erhaltenen Papiernetzes kann man dann offenbar, wenn man zuvor das Gewicht der Flächeneinheit des benutzten Papieres bestimmt hat, die gesuchte Grösse der betreffenden Fläche mit relativ grosser Genauigkeit berechnen.

§ 220. Noch umständlicher ist es natürlich zum Zwecke der Messung von den betreffenden Objecten erst Mikrophotographien anzufertigen. Ich will jedoch erwähnen, dass diese Methode von Kaiserling und Germer (I) als die genauste empfohlen wurde. Auch soll ja mit obigem natürlich nicht bestritten werden, dass man Mikrophotographien, die ursprünglich zu einem anderen Zwecke angefertigt wurden, nebenbei auch zu Messungen benutzen kann, sobald die Vergrösserung derselben genau bestimmt ist.

b) Die Messung in der Richtung der Achse des Mikroskops.

§ 221. Um an mikroskopischen Objecten die der Achse des Mikroskops parallelen Dimensionen zu bestimmen, benutzt man die an der Mikrometerschraube der meisten grösseren neueren Stative angebrachte Kreistheilung (cf. Fig. 46, m), die die verticalen Verschiebungen des Mikroskoptubus abzulesen gestattet. Es ist zu diesem Zwecke offenbar nur erforderlich, den Tubus nacheinander auf die beiden Enden des betreffenden Objectes genau einzustellen und jedesmal an der Scala die

Stellung des Zeigers abzulesen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Ablesungen gibt dann offenbar die Grösse der zu der betreffenden Aenderung der Einstellung erforderlichen verticalen Verschiebung des Tubus an.

Diese stimmt nun aber mit dem wirklichen Abstande der beiden Einstellungsebenen nur dann überein, wenn sich zwischen diesen das gleiche Medium befindet, wie an der unteren Grenze des Objectivs. Andernfalls erhält man infolge der Strahlenbrechung an den Begrenzungsflächen der verschiedenen Medien um so kleinere Werte für die betreffende Strecke, je dichter das zwischen den beiden Einstellungsebenen befindliche Medium im Verhältnis zu dem unmittelbar an das betreffende Objectiv grenzenden. Nehmen wir also z. B. einmal an, wir wollten mit Hilfe eines Trockensystemes die Dicke eines Deckgläschens (Fig. 100) bestimmen und hätten zunächst das Objectiv, wie auf der linken Seite der Figur angedeutet, auf den an der Oberseite des Deckgläschens befindlichen Punkt C eingestellt. Um sodann auf den an der Unterseite des Deckgläschens befindlichen Punkt E einzustellen, müssten wir das Mikroskop offenbar nicht um die Strecke C E, sondern nur um die Strecke C D senken, denn es werden ja die von dem Punkte E ausgehenden Strahlen beim Austritt aus dem Deckgläschen derartig gebrochen, dass sie, abgesehen von der sphärischen Aberration (cf. § 102), nach der Brechung rückwärts verlängert nach dem Punkte D convergieren.

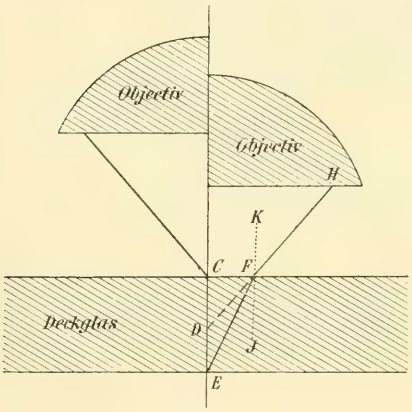


Fig. 100.

Nach den Brechungsgesetzen ist nun aber, wenn wir den Brechungsindex des Glases mit n, den Einfallswinkel E F J mit i und den Brechungswinkel K F H mit i' bezeichnen:

$$\frac{\sin i}{\sin i'} = \frac{1}{n}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{I)}$$

Ferner ist der $\measuredangle$ C E F = i und $\measuredangle$ C D F = D F J = i' und folglich, wenn wir C E mit d und C D mit δ bezeichnen:

$$\operatorname{tg} i = \frac{CF}{d}; \quad \operatorname{tg} i' = \frac{CF}{\delta}.$$

Durch Divisionen dieser Gleichungen erhalten wir dann:

$$\frac{\text{tg } i}{\text{tg } i'} = \frac{\delta}{d} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{II)}$$

Da wir nun aber für kleine Werte von i und i' den Sinus gleich der Tangente setzen können, so erhalten wir durch Combination der Gleichungen I und II:

$$\frac{\delta}{d} = \frac{1}{n} \text{ oder } d = n\,\delta.$$

Nach dieser Gleichung finden wir also die wirkliche Dicke des Deckgläschens (d), wenn wir die direct gemessene Grösse ($\delta = C\,D$) mit dem Brechungsindex des Deckgläschens multiplicieren.

Befände sich zwischen Deckglas und der Frontlinse des Objectivs eine Immersionsflüssigkeit von dem Brechungsindex n', so würden wir in der gleichen Weise zu der Formel

$$d = \frac{n}{n'}\,\delta$$

gelangen, während für den Fall der homogenen Immersion ($n = n'$) offenbar auch $d = \delta$. In diesem Falle würde also die beobachtete Tubusverschiebung mit der Dicke der Objects übereinstimmen.

c) Die Winkelmessung.

§ 222. Zur mikroskopischen Winkelmessung sind bisher namentlich drei verschiedene Methoden benutzt worden. Bevor wir aber zur Besprechung derselben übergehen, sei hervorgehoben, dass alle diese Methoden nur dann zuverlässige Resultate zu liefern imstande sind, wenn beide Schenkel des zu messenden Winkels in der Ebene des Gesichtsfeldes liegen. Uebrigens ist es ja am mikroskopischen Bilde deutlich zu erkennen, wenn einigermassen erhebliche Abweichungen von dieser Orientierung vorhanden sind, da dann offenbar nicht beide Schenkel bei der gleichen Einstellung mit der gleichen Schärfe sichtbar sind. Am günstigsten sind zu derartigen Messungen natürlich plattenförmige Krystalle, die sich im allgemeinen mit ihrer Fläche dem Objectträger oder Deckgläschen anlegen werden. Uebrigens wird man bei einiger Uebung auch bei Krystallen von abweichender Gestalt einzelne derartig orientierte Flächen auffinden können.

1. Das Goniometerocular.

§ 223. Von den in ihrer Construction im wesentlichen übereinstimmenden Goniometerocularen soll an dieser Stelle speciell das Goniometerocular von C. Zeiss besprochen werden. Dasselbe be-

steht, wie Fig. 101 zeigt, aus zwei Theilen: Der mit einer Kreistheilung (k) versehenen zum grössten Theil geschwärzten Hülse, die mit ihrem unteren Theile über den oberen Rand des Tubus hinübergreift, und dem eigentlichen Ocular, das mit dem Zeiger (z) in Verbindung steht und bei c aus dem unteren Theile der äusseren Hülse herausragt. Die Centrierung der Kreistheilung geschieht mit Hilfe zweier kleinerer Schrauben, von denen in der Figur die eine bis r sichtbar ist, und der grösseren Schraube (s), durch die gleichzeitig auch die Befestigung derselben an dem Tubus bewirkt wird. Das betreffende Ocular besitzt ferner in der Ebene der Gesichtsfeldblendung ein Fadenkreuz oder ein in eine Glasplatte eingeritztes System paralleler Linien, auf das die Augenlinse, wie bei dem Mikrometerocular (cf. § 207), durch verticale Verschiebung des Rohres (t) genau eingestellt werden kann.

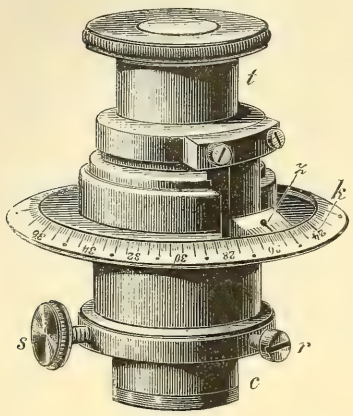


Fig. 101.

Um nun mit diesem Apparat die Messung eines Winkels auszuführen, stellt man das Ocular zunächst so ein, dass die in demselben markierte Richtung mit dem einen Schenkel des zu messenden Winkels zusammenfällt, dann liest man die Stellung des am Ocular befindlichen Zeigers auf der Kreistheilung ab, dreht darauf das Ocular so lange, bis der andere Schenkel mit jener Richtung zusammenfällt und liest wieder die Stellung des Zeigers ab. Die Differenz zwischen diesen beiden Ablesungen gibt offenbar den gesuchten Winkel.

2. Winkelmessung mit drehbarem Objecttisch.

§ 224. Besitzt man einen drehbaren Objecttisch, der in genügender Weise centriert ist und auch eine Vorrichtung zur Ablesung der Drehungswinkel trägt (cf. Fig. 76 und 107), so kann man die Winkelmessungen in der Weise ausführen, dass man die beiden Schenkel des zu messenden Winkels nach einander durch Drehung des Objecttisches mit einer im Ocular fixierten Richtung zusammenfallen lässt. Um eine solche zu erhalten, benutzt man nun entweder ein Ocular mit Fadenkreuz (cf. § 216) oder ein solches, das in der Gesichtsfeldebene eine Glasplatte enthält, in die ein System feiner paralleler Linien eingeritzt ist.

Die Grösse der Drehung, welche erforderlich ist, um nach vorheriger Einstellung des einen Schenkels des zu messenden Winkels den anderen in die feststehende Richtung zu bringen, gibt nun offenbar je

nach der Richtung der Drehung entweder direct den gesuchten Winkel oder dessen Nebenwinkel an.

3. Messung nach vorheriger Zeichnung.

§ 225. Ebenso wie die Messung von Längen lässt sich die Messung von Winkeln natürlich auch in der Weise ausführen, dass man zunächst mit Hilfe eines Zeichenapparates eine genaue Zeichnung von dem betreffenden Objecte anfertigt und an dieser dann die betreffenden Messungen mit dem Transporteur ausführt. Es ist diese Methode namentlich für diejenigen anzuempfehlen, welche weder über ein Goniometer noch über einen geeigneten drehbaren Objecttisch verfügen. Ist dafür gesorgt, dass keine Verzerrung des mikroskopischen Bildes stattfindet, so wird man in dieser Weise relativ genaue Resultate erhalten.

d) Die mikroskopische Zählung.

§ 226. Bei der Untersuchung des Blutes ist es von grosser Wichtigkeit die Zahl der in der Volumeinheit enthaltenen rothen und weissen Blutkörperchen genau bestimmen zu können. Aehnliche Bestimmungen wurden ferner auch bei verschiedenen Mikroorganismen, namentlich den Hefezellen ausgeführt.

§ 227. Man benutzt zu diesen Versuchen zunächst eine sogenannte Zählkammer, die von einem vollkommen ebenen Objectträger gebildet wird, dem in der Mitte ein mit kreisförmiger Oeffnung versehenes Glasplättchen von constanter Dicke aufgeklebt ist. Wird nun die Oeffnung dieses Plättchens mit einer ebenfalls vollkommen ebenen Glasplatte bedeckt, so wird offenbar ein Raum abgegrenzt, dessen Volumen sich genau bestimmen lässt. Die Zählkammern von Zeiss sind speciell so construiert, dass die Tiefenausdehnung des zur Aufnahme der zu untersuchenden Flüssigkeit bestimmten Raumes genau 0·1 *mm* beträgt. Um nun diesen Raum mit der betreffenden Flüssigkeit zu beschicken, bringt man nach sorgfältiger Reinigung aller Theile in die Mitte des auf dem Objectträger befindlichen Kreises einen kleinen Tropfen der zuvor gut durchgeschüttelten Flüssigkeit. Dieser Tropfen muss einerseits so klein sein, dass er beim Auflegen des Deckglases nicht über den Rand der Camera hinaustreten kann, und andererseits so gross, dass er in dem grössten Theile der Kammer den Raum zwischen Objectträger und Deckglas vollkommen ausfüllt.

Die bei diesem Apparate benutzten Deckgläschen müssen natürlich eine genügende Dicke besitzen, so dass die Gefahr einer Durchbiegung durch die Capillarwirkung des Flüssigkeitstropfens ausgeschlossen ist. Die gut abgeschliffenen und polierten Flächen der Kammer und des Deckgläschens

müssen ferner so gut gereinigt werden, dass beim Auflegen die Newtonschen Farben zum Vorschein kommen (cf. Abbe, IV).

Sobald nun die zu zählenden Körper sich auf die Oberfläche des Objectträgers gesenkt haben, führt man die Zählung mit Hilfe eines feinen Quadratnetzes aus, das bei den neueren Zeiss'schen Zählkammern direct in den Boden derselben eingeritzt ist, und zwar ist hier ein Quadratmillimeter durch je 20 sich unter rechtem Winkel kreuzende Liniensysteme in 400 Quadrate zerlegt. Da die Höhe der Zählkammer, wie bereits angegeben wurde, $\frac{1}{10}$ *mm* beträgt, entspricht also jedem Quadrate ein Volum von $\frac{1}{4000}$ mm^3.

Befindet sich am Boden der Zählkammer dagegen kein derartiges Quadratnetz, so kann man die Zählungen auch mit Hilfe eines Ocular-Netzmikrometers ausführen, d. h. einer mit einem Quadratnetz versehenen Glasplatte, die wie das Ocularmikrometer in der Ebene der Gesichtsfeldblendung in das Ocular eingeschaltet wird. Um aber in diesem Falle absolute Werte zu erhalten muss man natürlich für jedes Objectiv mit Hilfe eines Objectmikrometers den Wert der Quadrate bestimmen; auch ist es offenbar nothwendig, dass die Tubuslänge während der Zählungen nicht geändert wird.

Nachet verfährt schliesslich in der Weise, dass er mit Hilfe eines zugleich als Beleuchtungsapparat dienenden Objectives das reelle Bild eines mit photographischem Quadratnetz versehenen Glasplättchens auf die Oberfläche der Zählkammer projiciert (cf. Hayem, I).

§ 228. Um wirklich verwertbare Resultate zu erhalten, muss man natürlich eine grosse Anzahl von Quadraten abzählen und aus diesen Zählungen das Mittel nehmen. Von Wichtigkeit ist es hierbei auch, dass die zu prüfende Flüssigkeit nicht zu viel von den betreffenden Körpern enthält und hat man dieselbe eventuell zuvor durch genau gemessene Quantitäten entsprechender Flüssigkeiten zu verdünnen.

§ 229. Je nach der Natur der zu untersuchenden Objecte sind natürlich auch noch weitere Vorsichtsmaassregeln nothwendig. So muss man die Hefezellen bei Beginn des Versuches abtödten, damit während der Zählung nicht noch eine weitere Vermehrung derselben stattfindet. Nach E. C. Hansen (I) erreicht man dies zweckmässig durch einen Zusatz von 10proc. Schwefelsäure. Ueber Zählung der Blutkörperchen vergleiche Reinert (I).

3. Die Anwendung des polarisierten Lichtes in der Mikroskopie.

§ 230. Während die Benützung des polarisierten Lichtes bei mikroskopischen Untersuchungen für den Mineralogen schon seit lange unbedingt nothwendig geworden, ist dieselbe in der thierischen und pflanzlichen Histologie eine weniger allgemeine, obwohl das Polarisationsmikroskop auch bereits verschiedene wertvolle Aufschlüsse über die physikalischen Eigenschaften und feineren Structurverhältnisse der organisierten Substanzen geliefert hat. Es scheint somit auch geboten, an dieser Stelle eine kurze Besprechung der Anwendungsweise des polarisierten Lichtes zu geben. In derselben soll jedoch, dem Zwecke dieses Buches entsprechend, ein näheres Eingehen auf die einschlägigen Theorien möglichst vermieden werden, auch sollen die speciell nur für den Mineralogen wichtigen Apparate und Methoden keine Erwähnung finden. Um diesen Abschnitt nicht allzusehr ausdehnen zu müssen, habe ich mich denn auch entschlossen, mich lediglich auf die Behandlung der mit parallelem Licht auszuführenden Untersuchungen zu beschränken, obwohl ja das convergente Licht von Mineralogen neuerdings vielfach auch bei mikroskopischen Untersuchungen angewandt wird und, wie Ambronn (I, 53) gezeigt hat, in gewissen Fällen auch bei Objecten pflanzlichen und thierischen Ursprungs benutzt werden kann.

§ 231. Bevor wir nun aber zur Besprechung der zur Bestimmung der optischen Elasticitätsachsen dienenden Methoden übergehen, sollen zunächst einige zum Verständnis des Folgenden nöthigen Sätze aus der theoretischen Optik auseinandergesetzt werden. Hieran schliesst sich dann noch eine kurze Beschreibung der zu derartigen Untersuchungen nöthigen Apparate. Am Schluss dieses Abschnittes soll schliesslich noch der Pleochroismus und die Benutzung des Spectropolarisators besprochen werden.

a) Das polarisierte Licht.

§ 232. Bereits im § 54 haben wir erwähnt, dass die Schwingungen der Aethertheilchen, auf die von der Undulationstheorie alle Lichterscheinungen zurückgeführt werden, senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes stattfinden. Denken wir uns also z. B. einen horizontal verlaufenden Lichtstrahl, so würden nach dem Obigen die Schwingungen eines innerhalb dieses Strahles gelegenen Aethertheilchens innerhalb der durch die Ruhelage desselben senkrecht zum Lichtstrahl gelegten Verticalebene stattfinden. Innerhalb dieser Ebene sind nun aber natürlich unendlich viele verschiedene Schwingungsrichtungen möglich; denn das betreffende Aethertheilchen kann natürlich innerhalb jener Ebene sowohl in verticaler

als auch in horizontaler oder jeder zwischenliegenden Richtung hin und her schwingen. In der That nimmt denn auch die Undulationstheorie an, dass bei dem gewöhnlichen Lichte die Schwingungen der Aethertheilchen, die ja sehr schnell aufeinander folgen — bei dem rothen Licht kommen auf 1 Secunde 450 Billionen Schwingungen, bei violettem 728 Billionen — nacheinander in allen beliebigen Richtungen stattfinden, und zwar derartig, dass keine Richtung gegenüber den anderen irgendwie bevorzugt wird.

Im Gegensatz hierzu finden bei dem geradlinig polarisierten Lichte die Schwingungen eines einzelnen Aethertheilchens stets innerhalb derselben Richtung und die eines Lichtstrahles innerhalb ein und derselben Ebene, der „Schwingungsebene", statt.

Bei dem elliptisch polarisierten Lichte bewegen sich die Aethertheilchen in elliptischen Bahnen. Wir können uns aber diese Bewegung auch als Resultierende aus zwei in der Richtung der Achsen jener elliptischen Bahnen stattfindenden Bewegungen entstanden denken und können somit jeden elliptisch polarisierten Strahl in zwei aufeinander senkrecht stehende geradlinig polarisierte Strahlen zerlegen, deren Schwingungsamplituden zueinander in dem gleichen Verhältnis stehen, wie die Achsen der betreffenden Ellipsen. Da die Darstellung durch diese Zerlegung vielfach bedeutend vereinfacht wird, werden wir von derselben im folgenden häufig Gebrauch machen.

Als einen besonderen Fall des elliptisch polarisierten Lichtes können wir schliesslich noch das circular polarisierte Licht ansehen, bei dem sich die einzelnen Aethertheilchen in kreisförmigen Bahnen bewegen. Wir können uns einen derartigen Strahl in zwei aufeinander senkrecht stehende geradlinig polarisierte Strahlen von gleicher Schwingungsamplitude zerlegt denken.

b) Die optischen Elasticitätsachsen.

§ 233. Je nach ihrer physikalischen Beschaffenheit lassen sich zwei verschiedene Arten von Körpern unterscheiden: Die isotropen und die anisotropen. Bei den ersteren sind die Grössen der Elasticität und Festigkeit, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes, der Wärme und der Elektricität und noch verschiedene andere physikalische Eigenschaften in allen Richtungen die gleichen, während diese Grössen bei den anisotropen Körpern je nach der Richtung eine gesetzmässige Aenderung zeigen.

Für uns hat an dieser Stelle natürlich nur die die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes bedingende Elasticität des Lichtäthers ein Interesse. Da nun aber die Schwingungen der Lichtstrahlen senkrecht

zur Fortpflanzungsrichtung des Lichtes stattfinden, so kommen für einen jeden Lichtstrahl ausschliesslich die Elasticitätsverhältnisse in einer auf demselben senkrecht stehenden Ebene in Betracht. Erfahrungsgemäss lassen sich nun aber in jeder Ebene eines anisotropen Körpers zwei aufeinander senkrecht stehende Richtungen (A C B und D C T, Fig. 102) unterscheiden, in denen die Elasticität des Lichtäthers den grössten und kleinsten Wert besitzt. Die Grösse der optischen Elasticität in den zwischenliegenden Richtungen erhält man ferner, wenn man um den betreffenden Punkt (C) als Centrum eine Ellipse construiert, deren Achsen ihrer Richtung und Grösse nach den Richtungen der grössten und kleinsten Aetherelasticität (A B und D T) entsprechen. Die Grösse der optischen Elasticität in einer beliebigen anderen Richtung (C S oder C H) wird dann durch die in der betreffenden Richtung gezogenen Radien bestimmt. Die in dieser Weise gefundene Elasticitätsfläche wird gewöhnlich als die in jener Ebene wirksame Elasticitätsellipse bezeichnet.

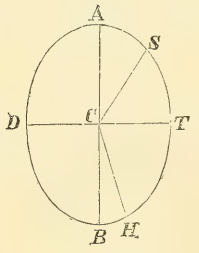


Fig. 102.

§ 234. Zieht man nun von einem Punkte nach allen Richtungen des Raumes in der gleichen Weise Radien, deren Grösse der optischen Elasticität in der betreffenden Richtung gleich ist, so erhält man eine Fläche, die im allgemeinsten Falle ein Ellipsoid darstellt und als das optische Elasticitätsellipsoid der betreffenden Substanz bezeichnet wird.

An einem Ellipsoid (Fig. 103) lassen sich nun bekanntlich drei aufeinander senkrecht stehende Achsen (a a, b b, c c) unterscheiden; diese drei Achsen sind jedoch nicht bei allen anisotropen Körpern verschieden, speciell unter den Krystallen sind die tetragonalen und hexagonalen dadurch ausgezeichnet, dass in ihnen die optische Elasticität in zwei aufeinander senkrecht stehenden Achsen (z. B. b b und c c, Fig. 103) die gleiche ist, die auf der Ebene dieser beiden Achsen senkrecht stehende Achse (a a) wird dann als die optische Hauptachse und ein derartiger Krystall als optisch einachsiger Krystall bezeichnet.

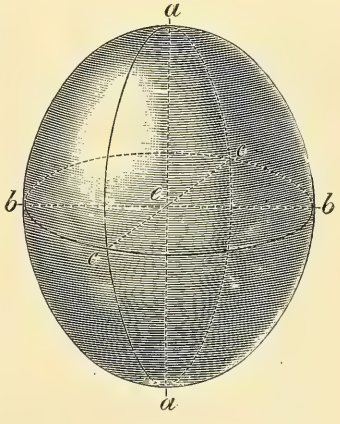


Fig. 103.

Das optische Elasticitätsellipsoid stellt bei diesen Körpern natürlich ein Rotationsellipsoid dar, und es lassen sich hier wieder zwei Fälle unterscheiden, je nachdem

die optische Hauptachse, die natürlich mit der Rotationsachse zusammenfällt, länger oder kürzer ist als die auf ihr senkrecht stehenden Achsen. Ist die optische Elasticität in der Richtung der Hauptachse am kleinsten, so bezeichnet man einen solchen Krystall als positiv, im entgegengesetzten Falle als negativ. Den Uebergang zwischen diesen beiden Arten von einachsigen Krystallen bilden natürlich die isotropen Körper, deren optische Elasticitätsfläche eine Kugel darstellt.

§ 235. Bei den Krystallen der drei übrigen Systeme sind sämmtliche Achsen des optischen Elasticitätsellipsoids voneinander verschieden, und es lassen sich hier also eine längste, mittlere und kürzeste Achse unterscheiden. Bezeichnen wir diese Achsen mit a, b, c, so erhalten wir also die Beziehung $a > b > c$. Ein Schnitt durch ein solches Ellipsoid stellt nun im allgemeinen eine Ellipse dar; nur in zwei Richtungen wird dieselbe zum Kreise, wie sich aus folgender Ueberlegung ergibt: Stellt Fig. 104 den in der Ebene der grössten und kleinsten Achse (A A und C C) geführten Durchschnitt durch das optische Elasticitätsellipsoid dar, so muss es, da ja die Grösse der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Achse b zwischen der von a und c liegt, in der dargestellten Ellipse 2 Radien geben, die die Grösse b besitzen. Stellen nun D D und D' D' diese Radien dar, so wird offenbar eine durch D D (resp. D' D') und die Achse b gelegte Ebene das optische Elasticitätsellipsoid nicht in einer Ellipse, sondern in einem Kreise schneiden; denn es haben ja in dieser Ebene die beiden Achsen die gleiche Länge b.

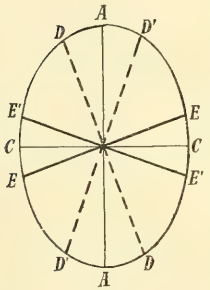


Fig. 104.

In diesen Ebenen ist also, wie bei den optisch einachsigen Krystallen in der Ebene senkrecht zur Hauptachse die optische Elasticität in allen Richtungen die gleiche, und es werden denn auch die auf jenen beiden Ebenen senkrecht stehenden Radien (E E und E' E') als die optischen Achsen eines derartigen Krystalls, dieser selbst aber als optisch zweiachsig bezeichnet. Ein optisch zweiachsiger Krystall wird ferner positiv genannt, wenn, wie in Fig. 104, der von den beiden Achsen gebildete spitze Winkel von der kleinsten Achse des optischen Elasticitätsellipsoids halbiert wird, während man im entgegengesetzten Falle von negativen Krystallen redet.

§ 236. Während nun aber bei den bisher allein berücksichtigten Krystallen die optischen Elasticitätsachsen, soweit es sich nicht um Zwillingsbildungen, Inhomogenitäten oder dergl. handelt, in dem gleichen Körper stets die gleiche Richtung besitzen, treffen wir in dem thierischen und pflanzlichen Organismus ganz allgemein solche Bildungen, in denen die Richtung der Elasticitätsachsen gesetzmässig variiert

und mit gewissen morphologischen Richtungen zusammenfällt. So fällt z. B. bei den vegetabilischen Zellmembranen stets die eine Richtung des optischen Elasticitätsellipsoid mit der Radialrichtung zusammen, während die anderen beiden in der Tangentialebene entweder in der Quer- und Längsrichtung verlaufen oder auch mit dieser einen beliebigen Winkel bilden können. Construieren wir also z. B. unter der Annahme, dass die kleinste Achse des optischen Elasticitätsellipsoids mit der Radialrichtung zusammenfällt, für den Querschnitt durch eine Zellmembran (Fig. 105) die einzelnen wirksamen Elasticitätsellipsen, so sieht man, dass die Richtung der kleinsten Achse, den zugehörigen Radien entsprechend, continuierlich wechselt und also in der gleichen Membran alle nur möglichen Richtungen einnimmt.

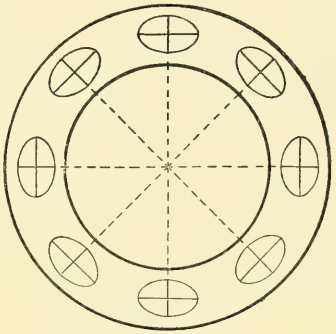


Fig. 105.

§ 237. Man hat nun übrigens für derartige Objecte ebenfalls die Ausdrücke einachsig und zweiachsig angewandt, was ja auch eine gewisse Berechtigung hat, wenn man damit ausdrücken will, dass in den betreffenden Körpern das optische Elasticitätsellipsoid zwei oder drei verschiedene Achsen besitzt. Ganz kritiklos wird aber vielfach in der Literatur der Ausdruck positiv und negativ auf organisierte Substanzen übertragen und z. B. zur Bezeichnung der Orientierung der in den Querschnitt fallenden Achsen benutzt. Um die hierdurch hervorgerufene Unklarheit und Verwirrung nicht noch zu vermehren, wird man wohl am besten thun, diese Ausdrücke bei organisierten Körpern ganz zu vermeiden, wenn man damit nicht ausdrücklich auf Beziehungen zwischen den organisierten Substanzen und den Krystallen hinweisen will.

§ 238. Hervorzuheben ist an dieser Stelle schliesslich noch, dass die optischen Eigenschaften eines Körpers in hohem Grade durch mechanische Dehnung oder Pressung beeinflusst werden können. So kann man z. B. einen Glasfaden, einen etwas angefeuchteten Gelatinestreifen und dergl. durch Dehnung stark doppelbrechend machen.

Da nun — jedenfalls bei den genannten Körpern — stets die gleiche Achse des optischen Elasticitätsellipsoids mit der Zugrichtung zusammenfällt, so kann man dieselben, wie wir später noch näher sehen werden, als Vergleichsobjecte benutzen, wenn es sich um Bestimmnng der optischen Achsen handelt. Erwähnt sei übrigens gleich noch an dieser Stelle, dass nach der gewöhnlichen Terminologie stets die längste Achse des optischen Elasticitätsellipsoids mit der Richtung des stärksten Zuges zusammenfällt.

§ 239. Ein zu derartigen Dehnungsversuchen sehr praktischer Apparat (Fig. 106) wurde vor kurzem von Ambronn (I, 12) beschrieben. Bei demselben wird das zu dehnende Object (e) in die bei c und d befindlichen Klammern eingeklemmt. Diese bewegen sich, wenn die Schraube b gedreht wird, nach beiden Seiten hin gleichmässig auseinander, so dass die vorher im Mikroskop eingestellte Partie nicht aus dem Gesichtsfelde verschwindet. Es geschieht dies dadurch, dass das bei b befindliche Zahnrad dem Zahnrad bei a und somit auch der die Klammer c bewegenden Schraube eine entgegengesetzte Drehung ertheilt, wie der unmittelbar mit b in Verbindung stehenden Klammer d. Zweckmässig wäre es übrigens wohl, diesen Apparat so einzurichten, dass er auf dem Objecttisch des Mikroskops festgeschroben werden kann, was sich ja leicht in ähnlicher Weise, wie bei den beweglichen Objecttischen, ausführen liesse.

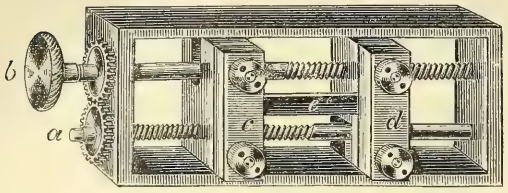


Fig. 106.

c) Die zu mikroskopischen Untersuchungen im polarisierten Lichte erforderlichen Apparate.

§ 240. Zu den Beobachtungen im polarisierten Lichte kann zwar jedes beliebige Mikroskop benutzt werden, das eine zur Anbringung des sogleich zu besprechenden Polarisators geeignete Vorrichtung besitzt. Immerhin wird derjenige, der sich eingehender mit derartigen Untersuchungen befassen will und die Kosten nicht zu scheuen braucht, gut thun, sich ein speciell für Untersuchungen im polarisierten Lichte bestimmtes Stativ, wie es jetzt unter der Bezeichnung mineralogisches Stativ von den meisten Firmen geliefert wird, anzuschaffen. Ein derartiges Stativ ist z. B. das in Fig. 107 abgebildete grosse Stativ für Mineralogie von C. Zeiss.

Wünschenswert ist es aber jedenfalls, dass das betreffende Stativ einen drehbaren Objecttisch (cf. § 150) besitzt. Die häufig beim Wechsel der Objective nöthig werdende Centrierung wird speciell bei dem in Fig. 107 abgebildeten Stative nicht am Objecttisch, sondern am Objectiv ausgeführt, und zwar dienen zu diesem Zwecke die beiden Schrauben c c.

§ 241. Weniger zweckmässig ist es dagegen für Untersuchungen im polarisierten Lichte, wenn der ganze obere Theil des Mikroskops, also Objecttisch und Tubus, um eine verticale Achse drehbar sind (cf.

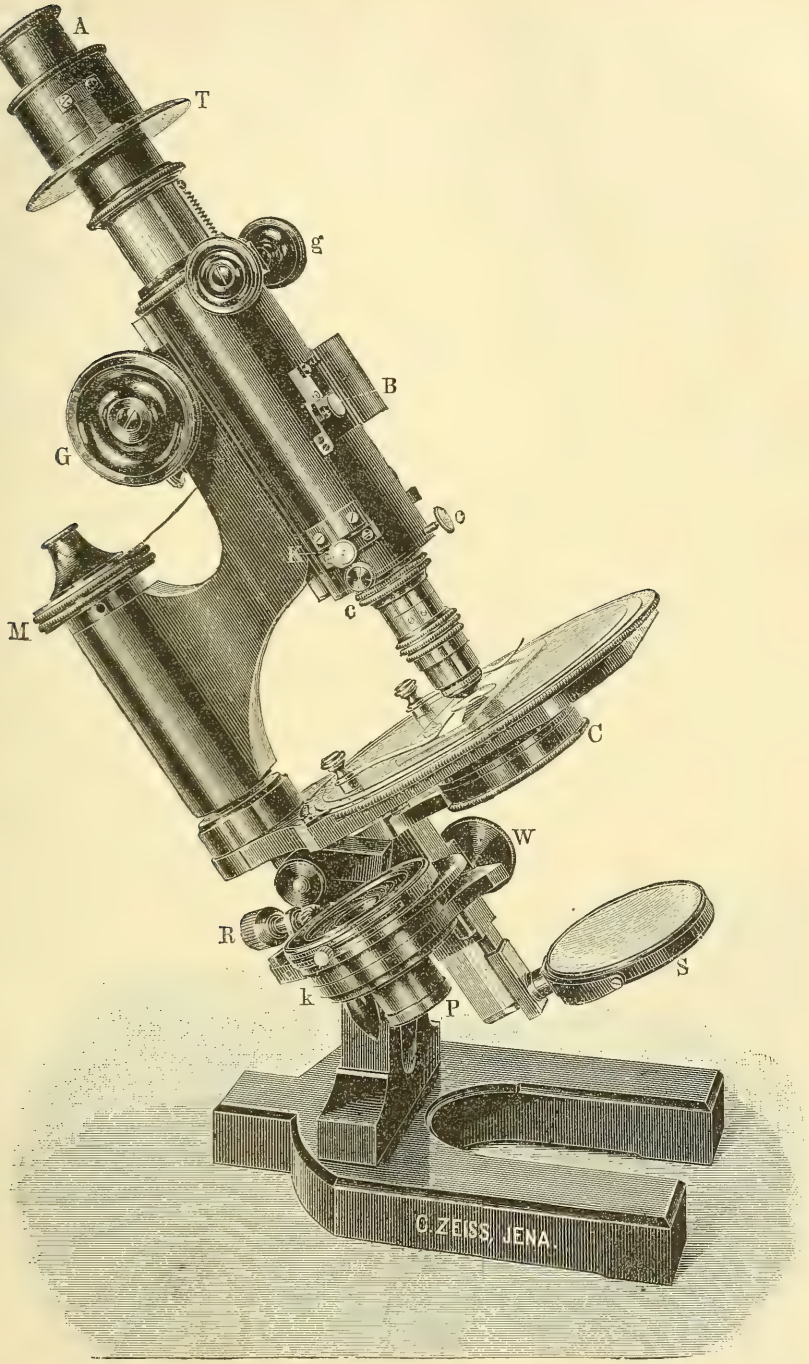


Fig. 107.

§ 151). Bei einem derartigen Mikroskope wird natürlich bei einer Drehung ausser dem Objecte gleichzeitig auch die Orientierung des auf dem Ocular befindlichen Analysators geändert. Es wurde übrigens von V. v. Ebner (I, 161) ein Halter construiert, der an dem Fuss des Mikroskops befestigt wird und den oberhalb des Oculars befindlichen Analysator derartig festhält, dass eine Drehung desselben beim Drehen des Tubus verhindert wird. Die Anwendung dieses Apparates macht allerdings ein Centrieren ganz überflüssig.

Sodann ist es aber auch in vielen Fällen nothwendig, gleichzeitig mit den mikroskopischen Objecten Gipsplättchen oder dergl. in den Gang der Lichtstrahlen einschalten zu können, was bei kleinen Stativen häufig nicht möglich ist. Meist gelingt es bei diesen noch am besten, das Gipsplättchen zwischen Polarisator und Objecttisch anzubringen. Bei dem in Fig. 107 abgebildeten Stative ist zwischen dem zurückgeschlagen gezeichneten Polarisator P und dem Condensor C ein zur Einschaltung eines Gipsplättchens ausreichender Zwischenraum. Noch zweckmässiger wird allerdings wohl in diesem Falle die Krystallplatte mit Hilfe des bei K befindlichen Schiebers über dem Objective in den Tubus eingeschoben.

§ 242. Den wichtigsten Theil des Polarisationsmikroskops bilden nun aber natürlich die beiden sogenannten Nicol'schen Prismen, die auch wohl einfach als Nicole bezeichnet werden.

Das eine von ihnen, der Polarisator (cf. Fig. 108) dient speciell dazu, das vom Spiegel des Beleuchtungsapparates reflectierte gewöhnliche Licht in geradlinig polarisiertes zu verwandeln. Bei den Mikroskopen mit Cylinderblendung wird der Polarisator meistens einfach an Stelle der Blendung in die Hülse des Blendungsträgers hineingeschoben; andernfalls kann man ihn aber auch auf den Blendungsträger des Abbe'schen Beleuchtungsapparates aufsetzen, wie dies in Fig. 107 dargestellt ist, in der bei P das untere Ende des Polarisators sichtbar ist.

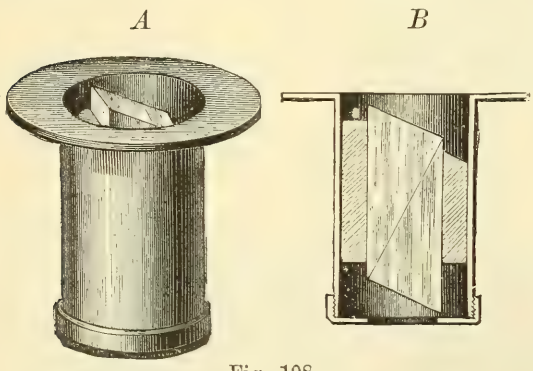


Fig. 108.

Das zweite Nicol'sche Prisma, der Analysator, wird zwischen Auge und Object eingeschaltet, und zwar wird derselbe gewöhnlich dem Ocular aufgesetzt (cf. Fig. 107, A). Früher befand sich der Analysator zawr auch wohl zwischen Objectiv und Ocular oder auch zwischen den

beiden Linsen des letzteren; doch hat sich namentlich die letztere Methode wenig bewährt, da der Nicol in dieser Lage die Güte des mikroskopischen Bildes stark beeinträchtigt.

§ 243. Das im Polarisator und Analysator enthaltene Nicol'sche Prisma wird nun gebildet von einem Kalkspatprisma, das in der ursprünglichen von Nicol herrührenden Construction, wie auch der Durchschnitt in Fig. 108, B erkennen lässt, annähernd in der Richtung der einen Diagonale (A C, Fig. 109) durchschnitten ist; die so entstandenen Hälften sind aber durch Canadabalsam wieder zusammengefügt. Trifft nun ein Strahl gewöhnlichen Lichtes in der Richtung a b (Fig. 109, II) auf ein derartiges Kalkspathprisma (A B C D), so wird er von dem doppelbrechenden Kalkspat in zwei geradlinig polarisierte Strahlen (b c und b c') zerlegt, deren Schwingungsrichtungen senkrecht auf einander stehen, die ferner verschieden stark gebrochen werden. Infolge dieser ungleichen Brechung treffen nun auch die beiden Strahlen auf die Canadabalsamschicht E F unter ungleicher Neigung, und zwar sind die Dimensionen des Prismas, wie an dieser Stelle nicht näher auseinandergesetzt werden kann, so gewählt, dass der eine Strahl b c' am Canadabalsam nach d' total reflectiert und dann an den geschwärzten Wänden des Nicols absorbiert wird, während der andere Strahl b c sich durch das zweite Prisma in der Richtung c d fortpflanzt und als geradlinig polarisierter Strahl in der Richtung d e aus demselben austritt.

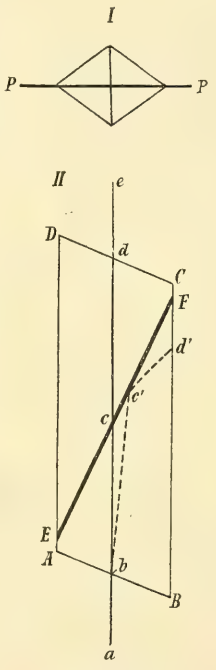


Fig. 109.

§ 244. In welcher Richtung nun aber bei den aus dem Nicol'schen Prisma austretenden Strahlen die Schwingungen der Aethertheilchen stattfinden, lässt sich zur Zeit noch nicht mit Sicherheit angeben; vielmehr stehen sich in dieser Hinsicht noch immer zwei verschiedene Ansichten einander gegenüber. Nach der einen sollen die Aetherschwingungen parallel der längeren, nach der andern parallel der kürzeren Diagonale des rhombischen Prismenquerschnittes stattfinden, den man z. B. auch beobachten kann, wenn man von oben auf den Nicol hinsieht (cf. Fig. 108 A und Fig. 109, I).

Die Ebene, in die die längere Diagonale (PP, Fig. 109, I) jenes Rhombus fällt, wird als Polarisationsebene bezeichnet.

§ 245. Zu bemerken ist jedoch, dass im Anschluss an das im obigen besprochene ursprüngliche Nicol'sche Prisma noch verschiedene Prismen abweichender Construction zur Anwendung gelangt sind; da

dieselben aber für die Praxis im wesentlichen dasselbe leisten, verzichte ich darauf, dieselben hier eingehender zu besprechen. Erwähnt sei nur noch, dass bei manchen derselben die Bestimmung der Polarisationsebene nicht so einfach ausgeführt werden kann, wie in dem oben besprochenen Falle. Bei manchen dieser Prismen kann man sich aber hierüber dadurch Aufschluss verschaffen, dass man durch dieselben nach Entfernung etwaiger Blenden, indem man sie möglichst schief hält, nach einem scharf gezeichneten Objecte hinsieht. Man kann dann häufig die von beiden Strahlen entworfenen Bilder beobachten.

§ 246. Um sich nun zunächst die Wirkungsweise des Analysators und Polarisators klar zu machen, verfährt man zweckmässig in der Weise, dass man, nachdem man für genügende Beleuchtung mit dem Spiegel gesorgt hat, ohne Lagenveränderung des Polarisators dem Analysator durch Drehung um die verticale Achse alle möglichen Lagen gibt. Man wird dann einen fortwährenden periodischen Wechsel von Helligkeit und Dunkelheit beobachten, und zwar wird man bei einer vollen Kreisdrehung zweimal die grösste Helligkeit und zweimal Dunkelheit erhalten.

§ 247. Zur Erklärung dieser Beobachtung wollen wir uns an die Figur 110 halten, in der P P die Schwingungsebene der vom Polarisator ausgehenden geradlinig polarisierten Strahlen darstellt. Offenbar werden diese Strahlen durch den Analysator ungeschwächt hindurchgehen, wenn die Polarisationsebene desselben mit der des Polarisators zusammenfällt, was ja natürlich bei einer Drehung um 360° zweimal eintreten muss. In diesen Fällen erhalten wir also die grösste Helligkeit.

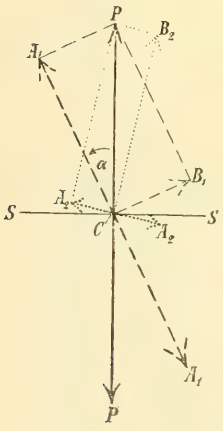


Fig. 110.

Nehmen wir nun aber an, dass die Polarisationsebenen vom Analysator und Polarisator einen gewissen Winkel $PCA_1 = \alpha$ mit einander bilden, so wird von den in der Richtung P P stattfindenden Schwingungen nur die in der Richtung CA_1 verlaufende Componente in den Polarisator eintreten. Um diese zu finden, brauchen wir nur die in der Richtung P P wirkende Kraft in der in der Fig. 110 angedeuteten Weise in 2 Componenten (CA_1 und CB_1) zu zerlegen, von denen die eine mit der Schwingungsrichtung des Analysators zusammenfällt, die andere auf dieser senkrecht steht. Offenbar wird von diesen beiden Componenten die erstere den Analysator durchsetzen. Denken wir uns nun aber den Winkel α allmählich zunehmen, so wird die durch den Analysator gehende Componente natürlich immer mehr abnehmen. In der Richtung $A_2 A_2$ beträgt

der Wert derselben offenbar nur noch $C A_2$. Sie wird schliesslich gleich Null, wenn der Winkel α zu einem rechten geworden ist. Denn in der Richtung S S hat der in der Richtung P P schwingende Strahl offenbar keine Componente.

§ 248. Für die Praxis ist nun namentlich der letztere Fall, in dem man gewöhnlich kurz von gekreuzten Nicolen redet, von Bedeutung. Derselbe ist also nach obigem dadurch charakterisiert, dass in demselben das Gesichtsfeld dunkel erscheint. Diese Dunkelheit ist um so vollständiger, je vollkommener das vom Polarisator gelieferte Licht polarisiert ist und je weniger das Objectiv und die anderen zwischen den beiden Nicoln befindlichen Linsen etc. die Polarisation beeinträchtigen. Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass die meisten Objective in dieser Beziehung mit gewissen Mängeln behaftet sind.

§ 249. Besonders hervorheben möchte ich schliesslich noch in diesem Abschnitte, dass es bei Untersuchungen im polarisierten Licht ganz besonders nothwendig ist, einerseits alles Oberlicht von dem Präparate fernzuhalten und andererseits auch das Auge vor allem fremden Licht zu schützen (cf. § 141).

d) Die optische Wirkung einer planparallelen Platte und eines Keiles.

§ 250. Trifft ein polarisierter Lichtstrahl senkrecht auf eine planparallele Platte, so hängt es ganz von der Beschaffenheit der optischen Elasticität in der zu diesem Strahle senkrechten Ebene, die also in diesem Falle mit der Begrenzungsfläche der Platte zusammenfällt, ab, in welcher Weise sich der betreffende Strahl innerhalb der Platte fortpflanzt. Es lassen sich nun aber in dieser Beziehung zwei verschiedene Möglichkeiten unterscheiden, insofern die Schnittfläche jener Ebene mit der optischen Elasticitätsfläche entweder einen Kreis oder eine Ellipse darstellen kann. Das erstere ist natürlich bei den isotropen Körpern stets der Fall, bei den anisotropen aber nur, wenn die betreffende Ebene bei einachsigen Krystallen auf der Hauptachse, bei zweiachsigen auf einer der beiden optischen Achsen senkrecht steht (cf. § 234 und 235). In allen anderen Fällen besitzt die wirksame Elasticitätsfläche anisotroper Körper die Gestalt einer Ellipse.

§ 251. Wird nun die optisch wirksame Elasticitätsfläche durch einen Kreis gebildet, so bleibt die Schwingungsrichtung des einfallenden Strahles völlig ungeändert, und es wird also auch eine solche Platte, wenn wir sie um die verticale Achse beliebig drehen, in keiner Lage auf die Helligkeit des Gesichtsfeldes einen verändernden Einfluss ausüben.

§ 252. Stellt aber die wirksame Elasticitätsfläche eine Ellipse dar, so entstehen in dem anisotropen Körper im allgemeinen elliptisch polari-

sierte Wellen, die wir uns aber im folgenden stets in zwei in der Richtung der Achsen der wirksamen optischen Elasticitätsellipse schwingende Strahlen zerlegt denken wollen. Um nun zunächst zu bestimmen, welche Intensität diese beiden Strahlen besitzen, brauchen wir nur den vom Polarisator gelieferten geradlinig polarisierten Strahl in 2 parallel den Achsen der wirksamen Elasticitätsellipse schwingende Strahlen zu zerlegen. Stellt also z. B. wieder P P (Fig. 111) die Schwingungsrichtung der durch den Polarisator hindurchgehenden Lichtstrahlen dar und befinden sich die Achsen des wirksamen Elasticitätsellipsoids in A A und B B, so werden die Componenten von C p offenbar dargestellt durch die Grössen C a und C b.

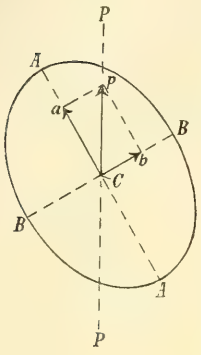


Fig. 111.

Es ist nun ferner ohne weiteres ersichtlich, dass nur dann eine von diesen Componenten gleich Null wird, wenn die betreffende Achse der wirksamen Elasticitätsellipse senkrecht zur Schwingungsebene P P verläuft; es steht dann natürlich die andere Achse dieser Schwingungsebene parallel, und es werden also die vom Polarisator ausgehenden Lichtstrahlen ohne Aenderung ihrer Schwingungsrichtung und ohne Schwächung den anisotropen Körper durchsetzen. Denken wir uns nun den Körper um eine verticale Achse bis zu einer vollen Umdrehung auf dem Objecttisch gedreht, so wird offenbar viermal der Fall eintreten müssen, dass eine der beiden Achsen der wirksamen Elasticitätsellipse der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes parallel läuft, und also von dem anisotropen Körper keine Wirkung auf die Schwingungsrichtung des einfallenden Lichtes ausgeübt wird. In diesen Fällen wird natürlich auch die Helligkeit des Gesichtsfeldes bei Anwendung beider Nicole keine Aenderung erfahren, und es wird somit der anisotrope Körper, wie ein isotroper, bei parallelen Nicoln hell, bei gekreuzten dunkel erscheinen.

§ 253. Von den unzähligen zwischen diesen 4 Lagen möglichen Zwischenfällen interessieren uns nun ferner in erster Linie diejenigen, in denen die Achsen der Elasticitätsellipse mit der Polarisationsebene der Nicole einen Winkel von 40° bilden; diese Stellung der Platte wird gewöhnlich als Diagonalstellung bezeichnet.

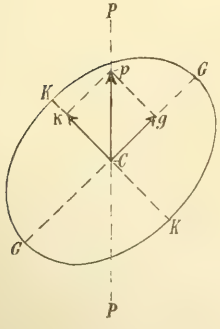


Fig. 112.

Offenbar wird in diesem Falle der vom Polarisator ausgehende in der Richtung (C p Fig. 112) schwingende Strahl in 2 einander an Intensität gleiche Strahlen zerlegt, deren Schwingungsrichtungen (C k und C g) auf einander senkrecht

stehen, die ferner, wie aus der Gleichheit der Winkel p C k und p C g (beide $= 45^0$) hervorgeht, die gleiche Amplitude, resp. Intensität besitzen.

Diese beiden Strahlen werden nun aber den anisotropen Körper den Differenzen der optischen Elasticität entsprechend mit ungleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge durchsetzen, und zwar sind beide den betreffenden Brechungsindices umgekehrt proportional. Sind also n_1 und n_2 die Brechungsindices für die in Luft gemessene Wellenlänge, so erhält man als Wellenlängen für die beiden im anisotropen Körper sich fortpflanzenden Strahlen die Werte $\frac{\lambda}{n_1}$ und $\frac{\lambda}{n_2}$. Auf eine Platte von der Dicke d kommen also von dem einen Strahle $\frac{d \cdot n_1}{\lambda}$, von dem anderen $\frac{d \cdot n_2}{\lambda}$ Wellenlängen, und es lässt sich somit der Unterschied (U) in der Zahl der Wellenlängen für die beiden Strahlen durch die Formel ausdrücken:

$$U = \frac{d\, n_1}{\lambda} - \frac{d\, n_2}{\lambda} = (n_1 - n_2)\frac{d}{\lambda}.$$

§ 254. Zur Veranschaulichung dieser Sätze kann Fig. 113 dienen, in der die schraffierte Fläche eine anisotrope Substanz darstellt, deren Brechungsindices der grösseren Einfachheit der Zeichnung halber abnorm verschieden gross, nämlich zu 1·6 und 1·2 angenommen sind. Es sind ferner die beiden Componenten, die von dem vom Polarisator ausgehenden geradlinig polarisierten Strahl a b geliefert werden und in Wirklichkeit aufeinander senkrecht stehen würden, in der Zeichnung der grösseren Deutlichkeit halber nicht perspectivisch, sondern einfach nebeneinander in der gleichen Ebene durch die Strahlen $b_1 c_1$ und $b_2 c_2$ wiedergegeben. In dieser Zeichnung besitzt nun

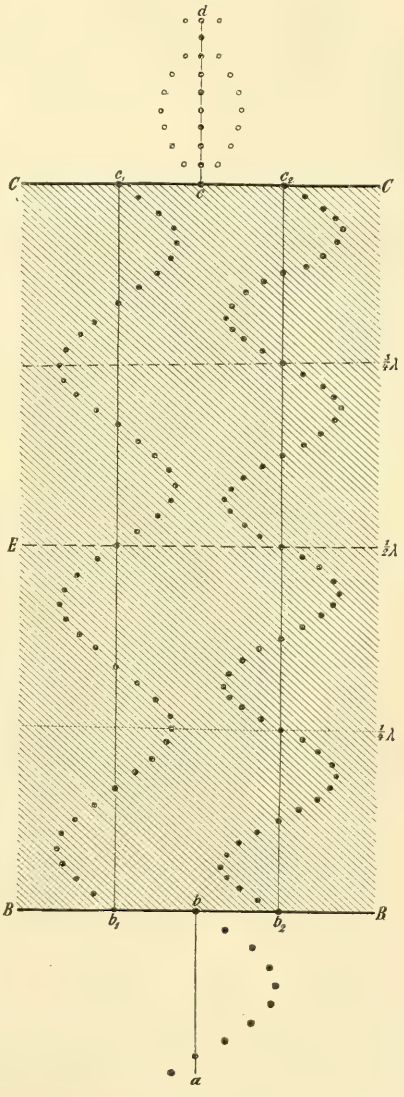


Fig. 113.

der anisotrope Körper gerade eine solche Dicke, dass die beiden Strahlen an der oberen Fläche CC einen Phasenunterschied von einer Wellenlänge erlangen, d. h. also wieder die gleiche Oscillationsphase besitzen. Besässe dagegen die anisotrope Platte, z. B. nur die halbe Dicke (B E), so würde die Phasendifferenz beim Austritt aus demselben offenbar gerade $^1/_2\lambda$ betragen, und es leuchtet also ohne weiters ein, dass dieselbe bei den zwischenliegenden Dicken alle Werte von 0 bis λ besitzen muss und dass umgekehrt bei wachsender Dicke der Platte eine continuierliche Zunahme der Phasendifferenz stattfindet.

Da nun ferner die beiden Strahlen nach dem Austritt aus dem anisotropen Medium in der zu passierenden Luftschicht und in den aus isotropen Glas bestehenden Linsen keine weitere Aenderung der Phasendifferenz erfahren, so kommen sie auch an der unteren Fläche des Analysators mit derjenigen Phasendifferenz an, die sie in dem anisotropen Körper erlangt haben, und es frägt sich nun, wie sich die beiden Strahlen zu einem in der Schwingungsrichtung des Analysators schwingenden Strahl zusammensetzen. Um dies zu erfahren, haben wir offenbar von den beiden Strahlen die in diese Richtung fallende Componente zu bilden und die durch Interferenz dieser beiden Componenten entstehende Resultante zu bestimmen.

§ 255. Nehmen wir nun zunächst an, dass die Nicole zu einander parallel stehen, so dass also die Schwingungsebene des Analysators in die Ebene C P (Fig. 114) fällt, so erhalten wir von den beiden Strahlen $c\,g_1$ und $c\,k_1$ offenbar zwei gleiche Componenten ($c\,p_1$), d. h. die beiden Strahlen werden in diesem Falle die gleiche Amplitude und Intensität besitzen; sie werden also je nach ihrem Phasenunterschied in der gleichen Weise mit einander interferieren, wie die beiden in § 56 besprochenen Strahlen. Der Phasenunterschied der beiden in die Richtung P P fallenden Componenten von $c\,g$ und $c\,k$ stimmt nun aber offenbar mit der Phasendifferenz, die diese beiden Strahlen selbst besitzen, vollständig überein. Es lässt sich dies am besten einsehen, wenn man zunächst bedenkt, dass die beiden Strahlen bei einer Phasendifferenz von λ oder einem Vielfachen von λ die gleichen Bewegungen ausführen, wie unmittelbar an der unteren Grenze des anisotropen Körpers, wo die beiden Strahlen durch Zerlegung aus dem ebenfalls in der Richtung P P schwingenden Strahle hervorgegangen sind. Nehmen wir also z. B. an, der vom Polarisator ausgehende Strahl bewege sich in der Ebene

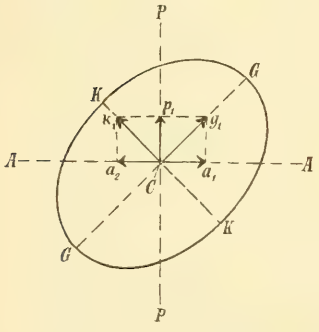


Fig. 114.

B B (Fig. 113) in der Richtung C p_1 (Fig. 114), so werden sich die beiden aus demselben abgeleiteten Strahlen nach der Zerlegung in jener Ebene in den Richtungen C k_1 und C g_1 bewegen, in der gleichen Richtung bewegen sich nun aber auch unter obiger Annahme, dass die Phasendifferenz ein Vielfaches von λ beträgt, die beiden Strahlen in der Ebene C C (Fig. 113) und auch an der unteren Fläche des Nicols. Bilden wir nun wieder umgekehrt die in die Richtung P P (Fig. 114) fallenden Componenten, so werden diese offenbar in jenem Zeitmomente gleichzeitig in der Richtung C p wirken, und es werden folglich auch die beiden interferierenden Strahlen die gleiche Oscillationsphase besitzen.

§ 256. Umgekehrt verhält sich die Sache dagegen, wenn wir annehmen, dass die Nicole gekreuzt sind und also die beiden in die Richtung A A fallenden Componenten zu bilden sind. Offenbar sind diese beiden Componenten (C a_1 und C a_2) einander zwar an Intensität ebenfalls gleich. Bei einer Phasendifferenz von λ oder einem Vielfachen von λ, wo sich die beiden Strahlen, wie wir oben sahen, in einem gewissen Zeitmomente gleichzeitig von C nach g_1 und k_1 bewegen, haben nun aber die beiden Componenten C a_1 und C a_2, wie auch in dem Schema (Fig. 113) in c d angedeutet wurde, entgegengesetzte Bewegungsrichtungen und werden sich also auch durch Interferenz in der gleichen Weise aufheben, wie zwei Strahlen, die eine Phasendifferenz von $\frac{\lambda}{2}$ besitzen.

Hätten nun aber die beiden Strahlen in der anisotropen Platte z. B. eine Phasendifferenz von $\frac{\lambda}{2}$ erhalten, so würde sich offenbar beim Austritt aus dieser Platte der eine Strahl von C (Fig. 115) nach g_1, der andere von C nach k_2 bewegen. In diesem Falle erhielten wir also in der Richtung P P (bei parallelen Nicoln) zwei entgegengesetzt gerichtete Componenten C p_1 und C p_2, während in der Richtung A A (bei gekreuzten Nicoln) die beiden Componenten (in C a_1) zusammenfallen und einander also auch verstärken würden.

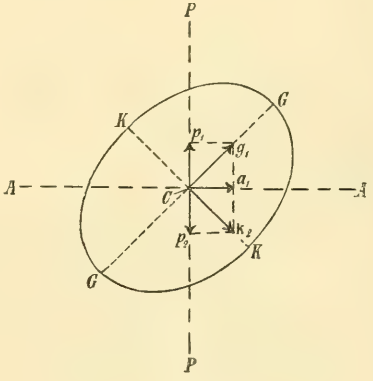


Fig. 115.

§ 257. In der gleichen Weise lässt sich nun ganz allgemein ableiten, dass die Phasendifferenz der beiden im Analysator mit einander interferierenden Strahlen bei parallelen Nicoln der in dem anisotropen Körper erlangten Phasendifferenz gleich ist, sich aber bei gekreuzten Nicoln um

die Strecke $\frac{\lambda}{2}$ von dieser unterscheidet. Da nun aber nach Obigem, wenn wir die Dicke der anisotropen Platte continuierlich wachsen lassen, auch eine continuierliche Zunahme jener Phasendifferenz eintritt, so erhalten wir nach § 58 einen stetigen Wechsel von Hell und Dunkel, und zwar liegen die Helligkeitsmaxima für parallele Nicole bei einer Phasendifferenz von λ oder einem Vielfachen von λ, bei gekreuzten Nicoln bei einem Phasenunterschied von $\frac{\lambda}{2}$ oder einem ungeraden Vielfachen von $\frac{\lambda}{2}$.

Stellt also z. B. A B C (Fig. 116) den Längsschnitt durch einen keilförmigen anisotropen Körper dar, so würde die Curve A' B' die bei

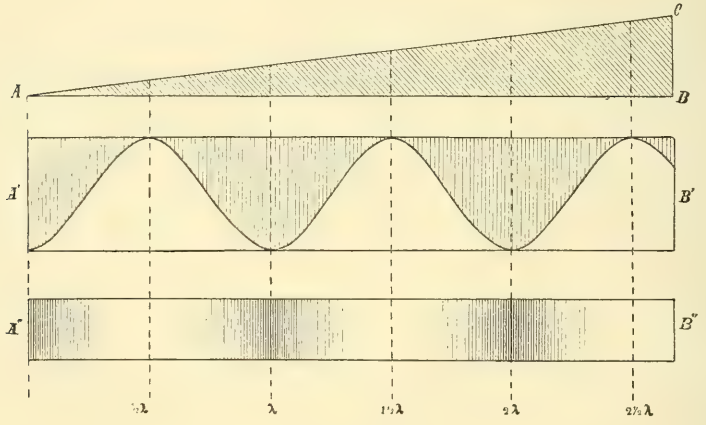


Fig. 116.

gekreuzten Nicoln den überstehenden Dicken des Keiles entsprechenden Lichtintensitäten repräsentieren können. Zwischen A'' B'' ist ferner das Bild dargestellt, welches ein derartiger anisotroper Keil bei bekreuzten Nicoln in der Flächenansicht zeigen würde. Unter den gestrichelten Verticallinien sind schliesslich die entsprechenden Phasendifferenzen in Wellenlängen angegeben.

§ 258. Zur Betrachtung dieser Erscheinungen benutzt man zweckmässig einen Gipskeil, den man zur Ermittlung der Diagonalstellung bei gekreuzten Nicoln so lange dreht, bis er die grössten Unterschiede der Helligkeit zeigt. Um nun aber nicht die im folgenden Capitel zu besprechenden Farbenerscheinungen zu erhalten, muss man in diesem Falle zur Beleuchtung monochromatisches Licht benutzen, das man z. B. durch eine Natriumflamme erhalten kann, oder einfacher, indem man gewöhnliches Tages- oder Lampenlicht ein Rubinglas, das nur Licht von sehr annähernd gleicher Wellenlänge liefert, passieren

lässt. Man kann dies Rubinglas entweder zwischen Polarisator und Lichtquelle oder auch zwischen Auge und Analysator einschalten.

Man beobachtet nun in dieser Weise in der That sowohl bei gekreuzten, als auch bei parallelen Nicoln einen continuierlichen Wechsel von Hell und Dunkel, und zwar beginnt der Gipskeil ganz in Uebereinstimmung mit dem Obigen bei gekreuzten Nicoln mit Dunkel, bei parrallelen mit Hell.

§ 259. Verwendet man nun aber in dieser Weise nacheinander verschiedenfarbiges Licht zur Beleuchtung, so wird man finden, dass die Helligkeitsmaxima und Minima je nach der Farbe eine verschiedene Entfernung besitzen. Eine solche Verschiedenheit ergibt sich denn auch unmittelbar aus der § 253 abgeleiteten Formel für den Phasenunterschied $\left(u = (n_1 - n_2)\frac{\lambda}{d}\right)$.

Aus dieser Gleichung folgt, dass bei gleicher Dicke der anisotropen Platte der Phasenunterschied der in Luft gemessenen Wellenlänge (λ), die ja die Farbe bestimmt, direct proportional ist. Allerdings kommt hierbei ausserdem noch die Grösse $(n_1 - n_2)$, d. h. der Unterschied der Brechungsindices für die beiden Strahlen in Betracht; erfahrungsgemäss zeigt dieser aber mit der Farbe im allgemeinen nur unbedeutende Schwankungen, die gegen die viel grösseren Differenzen der Wellenlängen vernachlässigt werden können.

Es folgt somit aus Obigem, dass die die Maxima und Minima der Helligkeit bewirkenden Phasendifferenzen von $^1/_2$, 1, $^3/_2$ . . . Wellenlängen je nach der Farbe des Lichtes bei **verschiedenen** Dicken des anisotropen Körpers eintreten müssen. Construieren wir also für zunehmende Dicke des anisotropen Körpers die Intensitätscurven der den Analysator passierenden Strahlen, so erhalten wir für jede Farbe eine andere Curve, und zwar werden die Maxima für rothes Licht, der grösseren Wellenlänge entsprechend, weiter auseinander liegen, als für blaues oder violettes Licht. So wird man denn auch in der That bei einem Gipskeil, den man bei gekreuzten Nicoln in Diagonalstellung erst in rothem, dann in blauem Lichte beobachtet, nachweisen können, dass die dunklen Streifen in violettem Licht viel näher aneinander liegen als im rothen.

§ 260. Verwendet man nun aber weisses Licht, das gleichzeitig Strahlen von der verschiedensten Wellenlänge enthält, zur Beleuchtung, so werden bei geringer Dicke des Gipskeiles bei gekreuzten Nicoln gleichzeitig alle Strahlen ausgelöscht sein, und es werden sich die verschiedenen nur zum Theil oder gar nicht durch Interferenz aufgehobenen Farben zu einer bestimmten Mischfarbe zusammensetzen, die je nach der Dicke sehr verschieden ist.

Das Zustandekommen dieser Farben können wir uns an der Hand der Fig. 117 klar machen, in der die Minima der Helligkeit für die verschiedenen Farben durch entsprechende Schraffierung sichtbar gemacht sind, und zwar entspricht die Figur einer von links nach rechts hin wachsenden Dicke des anisotropen Körpers. Wir erhalten nun für eine beliebige Dicke desselben die Intensität der verschiedenen Farben, wenn wir die entsprechende Senkrechte ziehen und sehen, welche Farben in dieser Zone Maxima oder Minima haben. So findet man z. B., dass bei der der Geraden I--I entsprechenden Dicke des Gipskeiles die grünen Strahlen vollständig absorbiert werden, die blauen und gelben zum grossen Theil, weniger stark die orange- und indigofarbigen.

Durch prismatische Zerlegung der von einem Gipsplättchen von der entsprechenden Dicke erzeugten Farben würden wir also ein Spectrum wie I'--I' erhalten. Ebenso würde man finden, dass bei der der Verticalen

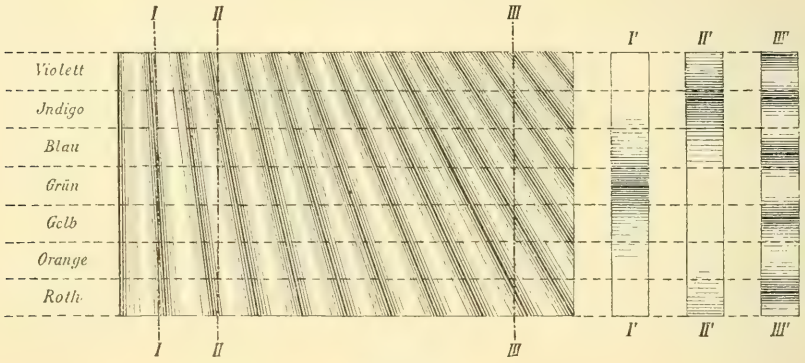


Fig. 117.

II--II entsprechenden Dicke das Maximum der Dunkelheit im Indigo liegen würde und dass wir durch prismatische Zerlegung das in II'--II' dargestellte Spectrum erhalten würden.

Bei grösserer Dicke, also z. B. bei III--III, sind nun aber stets mehrere Farben im Minimum und Maximum, und es folgt daraus, dass die entsprechende Mischfarbe immer heller wird, resp. sich immer mehr dem Weiss nähert. Von einer gewissen Dicke an vermag das Auge die betreffenden Mischfarben überhaupt nicht mehr von dem weissen Licht zu unterscheiden. Durch prismatische Zerlegung kann man jedoch zeigen, dass das Spectrum dieses Lichtes zahlreiche dunkle Streifen enthält. So würden wir ja bereits bei der III--III entsprechenden Dicke, wie auch das Spectrum III'--III' erkennen lässt, 5 Maxima der Dunkelheit erhalten.

§ 261. Erwähnen will ich übrigens noch, dass man die prismatische Zerlegung der von einem Gipsplättchen oder Gipskeile erzeugten Farben, z. B. in der Weise ausführen kann, dass man das Polarisationsmikroskop

in der gewöhnlichen Weise auf das betreffende Object einstellt und dann zwischen Auge und Analysator einen kleinen orthoskopischen Spectralapparat oder auch ein spectroskopisches Ocular (cf. § 290) einschaltet. Ausserdem können diese Erscheinungen auch mit dem im § 284 eingehender besprochenen Polarispektroskop beobachtet werden.

§ 262. Bei der genaueren Betrachtung der von einem Gipskeil oder dergl. gelieferten Farben wird man nun finden, dass dieselben vollständig mit denjenigen Farben übereinstimmen, welche dünne Membranen, Flüssigkeits- oder Luftschichten im reflectierten oder durchgehenden Lichte zeigen. Man kann solche „Farben dünner Plättchen, z. B. an Seifenblasen oder an auf Wasser ausgebreiteten dünnen Oelschichten sehr gut beobachten.

Die Reihenfolge dieser Farben wird nun gewöhnlich als die Newton'sche Farbenscala bezeichnet. Um ferner eine präcisere Bezeichnung der verschiedenen Farben zu ermöglichen, hat man diese Scala in verschiedene Ordnungen eingetheilt. Ich gebe zunächst eine Aufzählung der wichtigsten dieser Farben, die natürlich durch ganz allmähliche Uebergänge miteinander verbunden sind.

Gekreuzte Nicole.	Parallele Nicole.
I. Ordnung.	
Schwarz	Weiss
Graublau	Gelblichweiss
Hellbläulich	Gelbbraun
Weiss	Rothviolett
Gelb	Hellindigo
Bräunlichorange	Blau
Roth	Blassgrün
II. Ordnung.	
Violett	Grünlichgelb
Indigo	Lebhaftgelb
Blau	Orange
Grün	Hellcarminroth
Gelblichgrün	Violett
Gelb	Indigo
Orange	Dunkelblau
Roth	Grün
III. Ordnung.	
Violett	Grünlichgelb
Blau	Gelborange
Grün	Roth
Gelb	Violett
Rosaorange	Grünlichblau
Roth	Grün
IV. Ordnung.	
Hellviolett	Hellgrünlichgelb
Bläulichgrün	Hellrosa
Grün	Hellroth
Hellgrünlichgelb	Lila
Hellgelblichroth	Hellgrünlichblau
Hellroth	Hellgrün
V. Ordnung.	
Hellblau	Hellrosa
Hellgrün	Hellroth
Weisslich	Weisslich
Hellroth	Hellgrün
VI. Ordnung.	
Hellblau	Hellrosa
Sehr hellgrün	Hellroth
Weisslich	Weisslich
Sehr hellroth	Hellgrünlich

§ 263. Es ist für einen jeden, der sich mit Untersuchungen im polarisierten Licht befassen will, unerlässlich, sich wenigstens die Farben der beiden ersten Ordnungen einigermassen einzuprägen. Natürlich würden aber in dieser Hinsicht noch so ausführliche Beschreibungen die eigene Anschauung nicht zu ersetzen vermögen. Um aber die letztere zu erlangen, benutzt man zweckmässig einen Gipskeil, den man in Diagonalstellung unter dem Mikroskop verschiebt. Den gleichen Zweck kann man allerdings auch mit verschiedenen organischen Objecten erreichen. So sind z. B. die kolossal dicken Haare, die sich an den Theilfruchtschwänzen von Erodium gruinum befinden, zu derartigen Beobachtungen sehr geeignet. Dieselben werden, um eine Verdunkelung des Gesichtsfeldes durch Brechung möglichst zu verhindern, zweckmässig in Canadabalsam eingebettet. Auch Gelatinestreifen, denen man durch allmähliche Dehnung beliebige Grade von Doppelbrechung ertheilen kann, sind zu orientierenden Versuchen sehr geeignet.

e) Die Combination von 2 anisotropen Platten.

§ 264. Für die optische Wirkung, welche zwei übereinander befindliche anisotrope Platten im Polarisationsmikroskop ausüben, ist natürlich die Orientierung der optischen Achsen dieser Platten von der grössten Bedeutung. Wir wollen uns jedoch bei unseren Betrachtungen auf den Fall beschränken, dass die Platten sich beide in Diagonalstellung befinden, so dass also ihre Achsen mit den Polarisationsebenen der Nicole einen Winkel von 45^0 bilden. Es sind dann natürlich noch 2 verschiedene Fälle möglich; denn es können entweder die grossen und kleinen Achsen der beiden Platten in ihrer Richtung paarweise zusammenfallen, oder die gleichen Achsen stehen senkrecht aufeinander, so dass also die grosse Achse der einen Platte mit der kleinen Achse der anderen die gleiche Richtung besitzt und umgekehrt.

§ 265. Bei gleicher Orientierung der Achsen wird nun offenbar durch Combination beider Platten dieselbe Wirkung ausgeübt, wie von einer Platte, deren Dicke der Summe von derjenigen der beiden einzelnen Platten gleich ist. Nehmen wir also z. B. an, dass die Brechungsindices beider Platten in der Richtung der Achsen, wie in dem obigen Beispiele (cf. § 254), 1·2 und 1·6 betrügen, dass die untere Platte (A B C D, Fig. 118, auf der linken Seite) eine solche Dicke besässe, dass die an der oberen Fläche (D C) vorhandene Phasendifferenz $^3/_4\lambda$ betrüge, und dass schliesslich durch die obere Platte D C E F nur eine Phasendifferenz von $^1/_4\lambda$ erzeugt würde, so würden wir durch Combination beider Platten offenbar die Phasendifferenz λ erhalten. Bei gekreuzten Nicoln würden sich also, wie in dem früheren Beispiele, die von

den beiden Strahlen 11 und 22 in der Richtung der Schwingungsebene des Analysators gebildeten Componenten gerade aufheben.

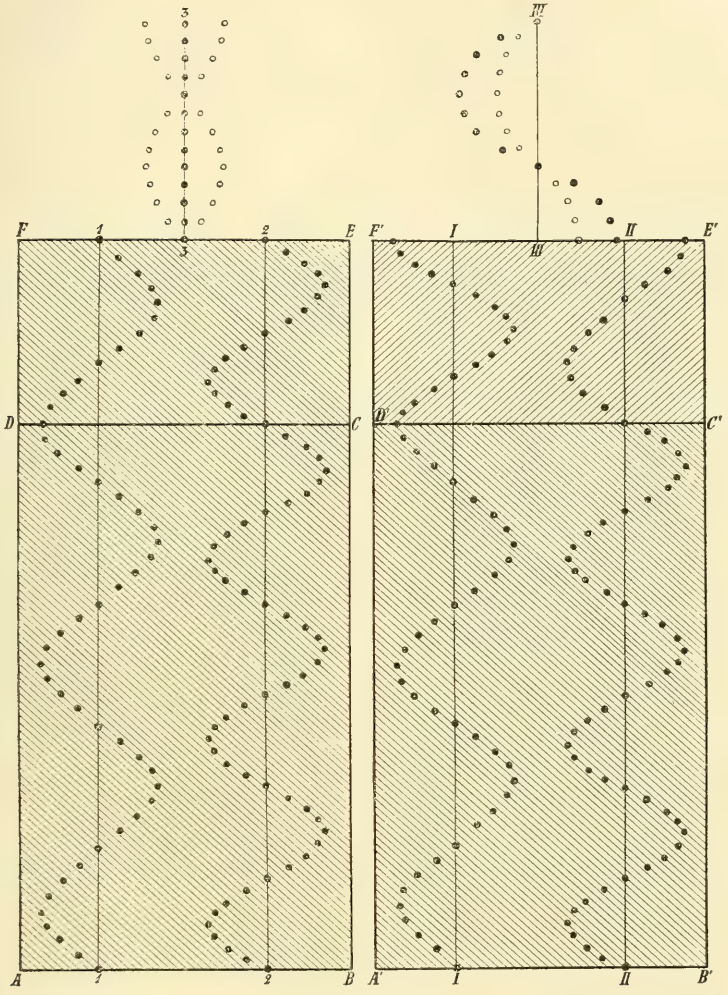


Fig. 118.

Hätten wir aber zur Beleuchtung weisses Licht angewandt, so würden wir durch die Einschaltung der zweiten Platte offenbar eine höhere Farbe der Newton'schen Farbenscala erhalten. Würde z. B. die untere Platte für sich bei gekreuzten Nicoln das Roth I. Ordnung geben, so würden wir bei Combination beider eine entsprechend höhere Farbe, etwa das Blau II. Ordnung beobachten.

§ 266. Denken wir uns nun aber die obere Platte um 90° gedreht, so dass von dem optischen Elasticitätsellipsoid derselben die längere

Achse mit der kürzeren Achse der unteren Platte zusammenfällt, so wird offenbar gerade umgekehrt eine theilweise Aufhebung der in dieser erlangten Phasendifferenz eintreten. Es wird ja nun der in der unteren Platte (A' B' C' D', Fig. 118) mit grösserer Geschwindigkeit und Wellenlänge sich fortpflanzende Strahl (I...I) in der oberen Platte (D' C' E' F') sich mit geringerer Geschwindigkeit und Wellenlänge fortbewegen. Hätte also z. B. der Strahl I...I den Strahl II...II in der unteren Platte um $^3/_4\lambda$ überholt, so würde derselbe in der oberen Platte wieder von dem Strahle I...I um $^1/_4\lambda$ überholt werden, so dass also die Phasendifferenz an der oberen Fläche der oberen Platte (F' E') nur noch $^1/_2\lambda$ beträgt. Die Einschaltung der zweiten Platte wirkt also in diesem Falle so, als wenn wir die Dicke der unteren Platte um ein entsprechendes Stück vermindert hätten. Unter den obengemachten Annahmen würden sich also die beiden Strahlen, wie auch in der Figur dargestellt ist, verstärken.

Hätten wir dagegen weisses Licht angewandt, so würden wir unter den im obigen angenommenen Bedingungen an Stelle von Roth I. Ordnung eine entsprechend niedere Farbe der Newton'schen Scala, etwa Gelb I. Ordnung erhalten.

§ 267. Man bezeichnet nun allgemein diejenige Lage zweier übereinander befindlicher anisotroper Körper, in der die Achsen gleichsinnig orientiert sind, als Additionslage, die durch eine derartige Combination zustande kommenden Farben aber als Additionsfarben. In entsprechender Weise redet man bei nicht gleichsinniger Orientierung von Subtractionslage und Subtractionsfarben. Bei den Untersuchungen im polarisierten Lichte spielen nun namentlich Combinationen mit dem Roth der I. Ordnung eine grosse Rolle, und es mag deshalb eine hierauf bezügliche Tabelle von Naegeli und Schwendener (I, 332) an dieser Stelle reproduciert werden, in der die Farben der verschiedenen Ordnung einfach durch Anhängung einer entsprechenden römischen Ziffer unterschieden sind.

Farbe der Objectes für sich	Farbe nach Combination mit Roth I	
	Additionfarbe	Subtractionsfarbe
Grau I	Indigo II	Orange I
Hellbläulich I	Blau II	Gelb I
Weiss I	Grün II	Weiss I
Gelb I	Gelb II	Hellbläulich I
Orange I	Orange II	Grau I
Roth I	Roth II	Schwarz
Indigo II	Violett III	Grau I
Blau II	Blau III	Hellbläulich I
Grün II	Grün III	Weiss I

Farbe des Objectes für sich	Farbe nach Combination mit Roth I	
	Additionsfarbe	Subtractionsfarbe
Gelb II	Gelb III	Gelb I
Orange II	Rosa III	Orange I
Roth II	Roth III	Roth I
Violett III	Hellrothviolett IV	Indigo II
Blau III	Bläulichgrün IV	Blau II
Grün III	Grün IV	Grün II
Gelb III	Hellgrünlich IV	Gelb II
Rosa III	Hellrosa IV	Orange II
Roth III	Hellroth IV	Roth II
Hellviolett IV	Hellroth IV	Violett III
Bläulichgrün IV	Hellviolettroth V	Blau III
Grün IV	Hellblau V	Grün III

§ 268. Zur Beobachtung dieser Farben schaltet man nun zweckmässig ein Gipsplättchen, wie es in verschiedener Dicke von den Mikroskop-Fabrikanten etc. geliefert wird, in der geeigneten Weise (cf. § 242) in den Gang der Lichtstrahlen ein. Falls die Achsenrichtung auf dem betreffenden Gipsplättchen nicht mit einem Pfeil oder dergl. angegeben ist, wie dies häufig geschieht, muss man dasselbe bei gekreuzten Nicoln solange drehen, bis es die intensivste Farbe zeigt, die übrigens bei den käuflichen Gipsplättchen immer auf der Fassung angegeben ist. Darauf bringt man die mit diesen Gipsplättchen zu combinierenden Objecte auf den Objecttisch des Mikroskops und kann dann durch Drehung derselben die Additions- und Subtractionsfarben ermitteln. Als Versuchsobjecte kann man zweckmässig einen Gipskeil benützen, oder kleine Plättchen von Gips, wie man sie sich durch Spalten von Marienglas leicht selbst herstellen kann. Der markanteren Farben halber thut man übrigens gut, mit sehr dünnen Plättchen zu beginnen, so dass die Additions- und Subtractionsfarben innerhalb der beiden ersten Ordnungen der Newton'schen Scala liegen.

f) Die Bestimmung der optischen Elasticitätsachsen in Krystallen und organisierten Körpern.

§ 269. Zur Bestimmung der optischen Elasticitätsachsen geht man zweckmässig von einem durch mechanische Dehnung oder Pressung doppelbrechend gemachten isotropen Körper, wie z. B. Glas, Gelatine oder dergl. aus. Wie bereits im § 238 hervorgehoben wurde, fällt bei einem solchen Objecte nach der gewöhnlichen Terminologie die längste Achse des optischen Elasticitäts-Ellipsoids mit der Richtung des stärksten Zuges zusammen.

§ 270. Ein zu derartigen Bestimmungen sehr geeignetes Material erhält man z. B., wenn man einen etwas angefeuchteten Gelatinestreifen in der Längsrichtung zieht und in diesem gedehnten Zustande wieder austrocknen lässt. Ein solcher Streifen bewahrt dauernd seine doppelbrechenden Eigenschaften und kann als mikroskopisches Präparat, in Canadabalsam eingeschlossen, beliebig lange zur Bestimmung der optischen Elasticitätsachsen benutzt werden. Von diesen fällt natürlich nach obiger Definition die längste mit der Längsrichtung des Streifens, in der ja der Zug stattfand, zusammen.

§ 271. Haben wir uns nun einen solchen Streifen oder sonst ein Object verschafft, in dem wir die Orientierung der optischen Elasticitätsachsen kennen, so können wir dasselbe zunächst dazu benützen, die Orientierung der Achsen in dem zu den weiteren Bestimmungen dienenden Gipsplättchen zu ermitteln. Wir drehen zu diesem Zwecke zunächst das Gipsplättchen bei gekreuzten Nicoln solange, bis es sich in Diagonalstellung befindet, resp. die auf demselben bezeichnete Farbe zeigt; dann drehen wir ferner auf dem Objecttische den Gelatinestreifen solange, bis er sich in der Additionslage befindet, was man, wenn man diese Farben noch nicht genügend aus eigener Erfahrung kennt, auch daran erkennen kann, dass bei einer geringen Drehung aus dieser Lage, mag dieselbe nach der einen oder der anderen Seite hin geschehen, die gleiche Farbenänderung eintritt.

Nach § 265 wissen wir nun, dass, wenn zwei übereinander befindliche Körper sich in Additionslage befinden, die beiden optischen Elasticitätsachsen derselben die gleiche Richtung haben. Da wir ferner wissen, dass in dem Gelatinestreifen die längste optische Elasticitätsachse mit der Längsrichtung des Streifens zusammenfällt, so muss offenbar auch im Gipsplättchen die längere Achse der in der betreffenden Platte wirksamen Elasticitätsellipse in jene Richtung fallen, und man thut gut, falls dies nicht bereits von dem Lieferanten geschehen, auf der Fassung des Gipsplättchens diese Richtung zu markieren.

§ 272. Zur Controle obiger Bestimmungen kann man nun übrigens auch noch die Subtractionslage des Gelatinestreifens benützen; man muss diese offenbar erhalten, wenn man den Streifen aus der Additionslage um 90^0 dreht. Der Gelatinestreifen muss dann nach Obigem eine Farbe zeigen, die in der Newton'schen Scala von der Farbe des Gipsplättchens ebensoweit nach unten hin abweicht, als die Additionsfarbe nach oben hin. Handelt es sich um ein Gipsplättchen Roth I, das, beiläufig bemerkt, zu derartigen Bestimmungen im allgemeinen am besten geeignet ist, so kann man ja auch die zusammengehörigen Additions- und Subtractionsfarben aus der Tabelle in § 267 ersehen.

§ 273. Hat man nun in dieser Weise für ein Gipsplättchen die Orientierung der optischen Achsen bestimmt, so kann man dasselbe jetzt dazu benützen, die Orientierung der optischen Elasticitätsachsen in irgend einem mikroskopischen Objecte zu ermitteln. Man braucht dieses offenbar nur so lange auf dem Objecttisch zu drehen, bis es mit dem in Diagonalstellung eingeschalteten Gipsplättchen eine Additionsfarbe gibt. Wir wissen, dass dann die entsprechenden optischen Elasticitätsachsen in dem Gipsplättchen und dem zu prüfenden Objecte die gleiche Richtung haben und da wir die Orientierung der Achsen in dem ersteren kennen, ist somit auch die Orientierung der wirksamen optischen Elasticitätsellipse in dem zu untersuchenden Objecte bestimmt. Der Anfänger wird übrigens gut thun, sich stets davon zu überzeugen, dass der betreffende Körper bei einer Drehung von 90° die entsprechende Subtractionsfarbe gibt.

§ 274. Natürlich können wir aber in dieser Weise stets nur einen Durchschnitt durch das gesammte Elasticitäts-Ellipsoid bestimmen, und es bedarf im allgemeinen mindestens zweier solcher Schnitte zur genauen Bestimmung der relativen Länge der optischen Elasticitätsachsen.

§ 275. Handelt es sich also z. B. darum, die optischen Achsen in einer Zellmembran zu ermitteln, so kann man zu diesem Zwecke den Querschnitt, den radialen und den tangentialen Längsschnitt benützen. Da nun zunächst, wie wir bereits im § 236 sahen, stets eine Achse des optischen Elasticitäts-Ellipsoids mit der Radialrichtung zusammenfällt, so wird offenbar der Querschnitt in 2 Quadranten Additions-, in 2 Quadranten Subtractionsfarben zeigen müssen. Nehmen wir z. B. an, dass die Schwingungsrichtungen des Analysators und Polarisators in die Richtungen P P und A A (Fig. 119) fallen, dass ferner die wirksame Elasticitätsellipse des Gipsplättchens die der grossen Ellipse G K G K entsprechende Orientierung besitzt, während die Elasticitätsachsen der zu prüfenden Membran die durch die kleinen Ellipsen dargestellte Orientierung zeigen, so würden wir offenbar in den Quadranten I und III, in denen die optischen Elasticitätsachsen der Membran mit denen des Gipsplättchens zusammenfallen, Additionsfarben erhalten, während die Quadranten II und IV, in denen die entsprechenden Achsen senkrecht aufeinander stehen, Subtractionsfarben liefern müssten.

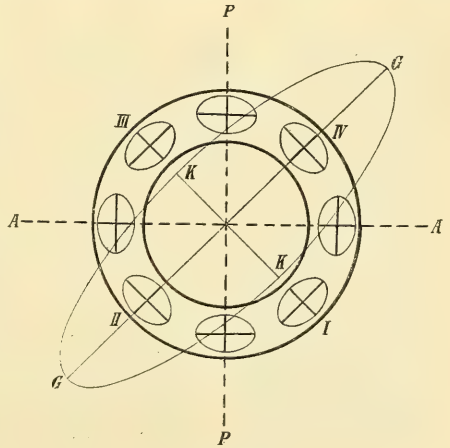


Fig. 119.

§ 276. Finden wir nun aber bei der Untersuchung eines beliebigen Membranquerschnittes eine derartige Vertheilung der Subtractions- und Additionsfarben, so können wir daraus umgekehrt den Schluss ziehen, dass die Vertheilung der optischen Achsen der Fig. 119 entspricht und dass somit die in die Radialrichtung fallende Achse der optischen Elasticitätsellipse kürzer ist als die in die Tangentialrichtung fallende. Bezeichnen wir nun diese beiden Achsen kurz mit r und t, so lässt sich obiger Satz auch kurz ausdrücken durch die Formel $t > r$.

Gehen wir nun zu den Längsansichten der betreffenden Membran über, so lässt sich zunächst aus dem Radialschnitt (A B, Fig. 120) das Verhältnis zwischen der radialen (r r) und longitudinalen (l l) optischen Elasticitätsachse ableiten. Finden wir nun hier in der oben geschilderten Weise die in der Fig. 120 dargestellte Orientierung, so folgt hieraus, dass $l > r$.

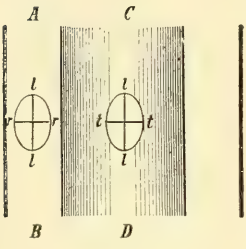


Fig. 120.

Wir wissen also jetzt, dass sowohl die Longitudinal-, als auch die Transversalachse länger ist als die radiale, wir wissen aber noch nichts über das Verhältnis zwischen den beiden erstgenannten Achsen. Ueber dieses kann uns nun die Flächenansicht der betreffenden Membran Aufschluss geben. Zeigt diese die in der Fig. 120 zwischen C D angegebene Orientierung, so ist offenbar $l > t$, und wir erhalten also durch Combination der an allen drei Schnitten gewonnenen Resultate für das Achsenverhältnis die Ungleichung: $l > t > r$.

§ 277. Bei den organisierten Substanzen, bei denen die mit den morphologischen Richtungen zusammenfallenden Achsen in dem gleichen Körper häufig eine sehr verschiedene Orientierung besitzen, wird nun übrigens die Bestimmung der Achsen häufig dadurch erschwert, dass in demselben Schnitte Partien mit verschiedener Achsenorientierung übereinander liegen. Nehmen wir z. B. eine Bastzelle, bei der die beiden in die Tangentialebene fallenden Achsen nicht quer und longitudinal stehen, sondern mit der Längsachse den gleichen Winkel bilden, wie die spaltenförmigen Tüpfel und die etwa vorhandenen spiraligen Streifungen, so werden bei einer isolierten Zelle in der zu- und abgekehrten Wandung die optischen Elasticitätsachsen einen gewissen Winkel mit einander bilden. Beträgt z. B. die Neigung, die die Richtung der spaltenförmigen Tüpfel und in Uebereinstimmung damit die grössere der beiden Tangentialachsen des optischen Elasticitäts-Ellipsoids mit der Längsrichtung bildet, 25 Grad, so würden offenbar, wie in Fig. 121,

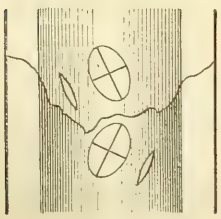


Fig. 121.

in der in dem oberen Theile für die dem Beobachter zugekehrte, im unteren aber für die abgekehrte Membranpartie ein Tüpfel und die Orientierung der optischen Achsen eingezeichnet ist, die letzteren in den beiden Membrantheilen einen Winkel von 50° mit einander bilden. Dasselbe würde aber auch bei einigermaassen dicken Schnitten der Fall sein, bei denen ja stets die aneinanderstossenden Wände zweier benachbarter Zellen, wie schon aus der bekannten Kreuzung der spaltenförmigen Tüpfel hervorgeht, den gleichen Wechsel in der Orientierung der optischen Elasticitätsellipsen zeigen.

§ 278. Es wurde nun übrigens von Naegeli (II, 90) allgemein durch Berechnungen und Versuche festgestellt, welche Interferenzfarben zwei parallele Platten, deren Achsen verschiedene Winkel mit einander bilden, bei der Combination mit einem Gipsplättchen zeigen. Da aber dieses Problem sehr verwickelt ist und bisher nur relativ geringe Bedeutung gewonnen hat, mag der sich speciell dafür interessierende auf die citierte Originalarbeit und auf Naegeli und Schwendener (I, 332) verwiesen werden. Im allgemeinen wird man jedenfalls in derartigen Fällen durch möglichst weitgehende Zergliederung am sichersten zum Ziele gelangen.

g) Der Pleochroismus.

§ 279. Während es sich im vorstehenden lediglich um farblose Objecte handelte, und die beschriebenen, zum Theil sehr glänzenden Farben ausschliesslich durch Interferenz hervorgebracht werden, beruht der Pleochroismus auf einer ungleichen Absorption der mit verschiedener Schwingungsrichtung den betreffenden Körper durchsetzenden Strahlen. Pleochroismus kann also auch nur bei farbigen Krystallen oder organisierten Körpern beobachtet werden.

Da nun aber nach Obigem die Aetherschwingungen bei einem anisotropen Körper stets in der Richtung der Achsen der wirksamen optischen Elasticitätsellipsen stattfinden, so ist diese natürlich auch für die Wirkung pleochroitischer Körper von ausschlaggebender Bedeutung, und es lassen sich bei diesen, den verschiedenen Achsen des optischen Elasticitäts-Ellipsoids entsprechend, verschiedene Absorptionsspectra ermitteln. Man hat also speciell bei einachsigen Krystallen, den beiden verschiedenen optischen Elasticitätsachsen entsprechend, zwei, für die optisch-zweiachsigen aber, den drei optischen Elasticitätsachsen entsprechend, drei verschiedene Absorptionsspectra zu unterscheiden.

§ 280. Trifft nun aber ein Bündel geradlinig polarisierter Strahlen auf eine planparallele Platte von pleochroitischer Substanz, so wird im allgemeinen jeder Strahl in 2 Strahlen zerlegt, deren Schwingungsrichtungen

senkrecht aufeinander stehen, die ferner infolge des Pleochroismus der Platte in verschiedener Weise absorbiert werden und folglich auch eine verschiedene Farbe besitzen. Wird nun aber die betreffende Platte ohne Analysator beobachtet, so wird sich der optische Effect der beiden Strahlenbündel offenbar zu einer Mischfarbe vereinigen müssen.

Dahingegen kommt eines beiden Strahlenbüschel getrennt zur Beobachtung, wenn eine Achse der optischen Elasticitätsellipse der pleochroitischen Platte mit der Polarisationsebene des Polarisators zusammenfällt. In diesem Falle werden offenbar die in die Richtung der einen Achse fallenden Componenten gleich Null, und es werden somit nur die in der Richtung der anderen Achse schwingenden Strahlen die betreffende Platte passieren. Wir erhalten dann also (ohne Anwendung des Polarisators!) die alleinige Absorptionswirkung in der Richtung der einen Achse der wirksamen optischen Elasticitätsellipse. Drehen wir dann den Körper um 90°, so fällt offenbar die andere Achse der optischen Elasticitätsellipse mit der Polarisationsebene des Polarisators zusammen, und wir erhalten dann in entsprechender Weise die in der Richtung dieser Achse ausgeübte Absorptionswirkung.

§ 281. Wird nun also z. B., wie bei einem Theil der in der Möhre enthaltenen Farbstoffplatten, in der einen Richtung fast das ganze Spectrum, in der anderen aber schön roth erscheinendes Licht durchgelassen, so wird eine solche Farbstoffplatte, wenn wir dieselbe über dem Polarisator auf dem Objecttische völlig im Kreise herumdrehen, zweimal fast farblos und zweimal intensiv roth erscheinen, in den zwischenliegenden Stellungen aber intermediäre Färbungen zeigen müssen. Sehr geeignete Versuchsobjecte für derartige Zwecke stellen ferner auch mit Chlorzinkjod violett gefärbte Cellulosemembranen dar, die ebenfalls einen sehr starken Pleochroismus zeigen.

§ 282. Hinsichtlich der bei diesen Versuchen anzuwendenden Technik erwähne ich noch, dass man, wenn es sich darum handelt, geringe Grade von Pleochroismus mit Sicherheit nachzuweisen, gut thut, in der That in der oben beschriebenen Weise nach Entfernung des Analysators das zu beobachtende Object während der Beobachtung über dem Polarisator zu drehen.

§ 283. Bei Objecten mit starkem Pleochroismus kann man allerdings auch den Polarisator bei Seite lassen und den Analysator benützen; man kann dann durch Drehung des Objectes oder auch des Analysators den Wechsel der Orientierung bewirken. Zu bemerken ist jedoch, dass in solchen Fällen unter Umständen dadurch Täuschungen veranlasst werden können, dass die vom Spiegel des Beleuchtungsapparates reflectierten Strahlen mehr oder weniger stark polarisiert sind.

h) Die Anwendung des Spectropolarisators.

§ 284. Der zur Zeit gewöhnlich als Spectropolarisator bezeichnete Apparat hat den Zweck, in der Ebene des mikroskopischen Objectes ein Spectrum von polarisiertem Lichte zu erzeugen und muss also offenbar unterhalb des Objecttisches des Mikroskops angebracht werden. Die Construction des zuerst von Schmidt und Haensch nach Angaben von Rollet (I, 368) construierten derartigen Apparates ist aus Fig. 122 und 123, von denen die erstere einen Längsschnitt durch

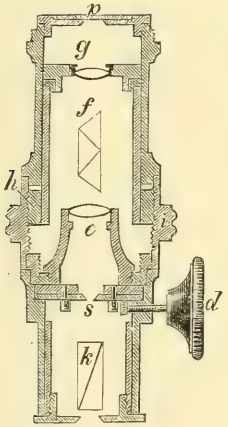


Fig. 122.

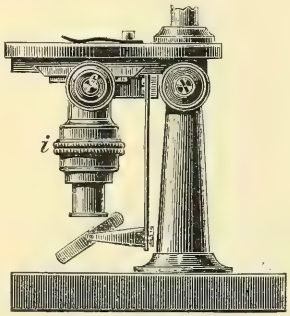


Fig. 123.

den Apparat, die zweite denselben in Verbindung mit dem Objecttisch des Mikroskopes darstellt, ersichtlich. Das am unteren Ende desselben befindliche Prismensystem (k, Fig. 122) dient zunächst dazu, das vom Spiegel gelieferte Licht in geradlinig polarisiertes zu verwandeln. Von hieraus gelangt es dann auf den Spalt s, der durch die Schraube d beliebig enger- und weitergestellt werden kann, und von da durch die Linse e auf das Prismensystem f. Das von diesem entworfene Spectrum wird dann schliesslich mit Hilfe der Linse g in die Ebene des mikroskopischen Objectes projiciert. Um nun aber dies Bild, der verschiedenen Objectträgerdicke entsprechend, genau einstellen zu können, sind das Prisma f und die Linse g — ähnlich wie bei den Objectivsystemen mit Correctionsfassung — innerhalb einer gesonderten Röhre angebracht, die vermittels der Schraube bei h in verticaler Richtung auf- und abwärts bewegt werden können. Es geschieht dies durch Drehung des in Fig. 123 bei i sichtbaren Ringes. Bei p, Fig. 122, kann schliesslich noch ein Gipsplättchen angebracht werden. Der ganze Apparat wird vermittels Schlittenvorrichtung an der Unterseite des Objecttisches, wie Fig. 123 zeigt, eingeschoben und kann mit Hilfe der Schraube c in horizontaler Richtung verschoben werden.

§ 285. Bei dem dem gleichen Zwecke dienenden Abbe'schen Spectropolarisator (Fig. 124) ist das zur Polarisation des einfallenden Lichtes bestimmte Prismensystem Po an dem Arme k drehbar, so dass es leicht ausgeschaltet werden kann. Der drehbare Ring G dient zur Aufnahme von Gipsplättchen. Die Backen des Spaltes (Sp) können durch in der Figur nicht sichtbare Schrauben symmetrisch bewegt werden, so dass die Mitte des Spaltes stets denselben Ort einnimmt. Das von den beiden Prismen (P,P) gebildete Spectrum wird durch diese gerade um 90° abgelenkt, so dass es bei O aus dem Apparat austritt. An dem an dieser Stelle dargestellten Schraubengewinde wird, wie bei dem Engelmann'schen Mikro-Spectralobjectiv, das Linsensystem eines Objectivs angeschroben, das in der Ebene des mikroskopischen Objectes ein je nach seiner Stärke mehr oder weniger verkleinertes Spectrum entwirft. Mit Hilfe des Rohres SK lässt sich ferner noch eine nach der Wellenlänge getheilte und bezifferte Scala gleichzeitig mit dem Spectrum in die Einstellungsebene projicieren. Der Apparat ist zur Anbringung an das Gestell des Abbe'schen Beleuchtungsapparates eingerichtet. Die Beleuchtung desselben geschieht mit Hilfe eines an einem besonderen Stative allseitig beweglichen Spiegels, der seitlich vor dem Spalte aufgestellt wird.

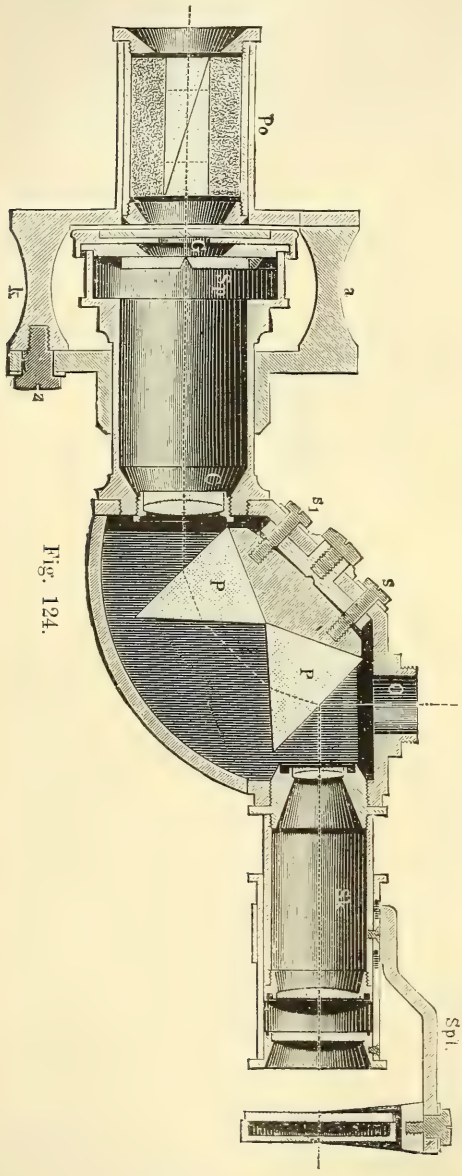


Fig. 124.

§ 286. Bei der Anwendung des Spectropolarisators sind nun die einzelnen Theile so zu orientieren, dass die Richtung des Spaltes mit der grösseren Elasticitätsachse des bei gekreuzten Nicoln in Diagonal-

stellung eingeschaltenen Gipsplättchens zusammenfällt. Stellen also wieder P P und A A, Fig. 125 die Schwingungsrichtungen von Analysator und Polarisator, ferner K K und G G die Achsen des optischen Elasticitäts-Ellipsoids des Gipsplättchens dar, so müsste der Spalt die Richtung S S besitzen.

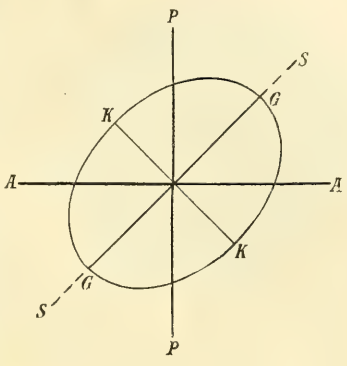


Fig. 125.

Das bei obiger Orientierung nach genauer Einstellung beobachtete Spectrum wird nun offenbar direct erkennen lassen, welche Intensität die einzelnen Farben des Spectrums durch Einschalten des Gipsplättchens erhalten. So wird z. B. ein Gipsplättchen Roth I einen breiten dunklen Streifen zeigen, dessen Maximum im Grün liegt. Nach § 256 können wir hieraus schliessen, dass diese Strahlen in dem Gipsplättchen gerade eine Phasendifferenz von $^1/_2\lambda$ erhalten haben, während die Strahlen geringerer und grösserer Wellenlänge eine entsprechend geringere oder grössere Phasendifferenz besitzen, durch die bewirkt wird, dass die mit einander interferierenden Strahlen einander nur theilweise aufheben.

§ 287. Bringen wir nun aber zunächst in die Ebene des Spectrums ein zweites Gipsplättchen, dessen Achsen gleichsinnig orientiert sind, wie die des unteren Gipsplättchens (Additionslage), so wird dasselbe offenbar für alle Farben eine Vergrösserung des in dem unteren Gipsplättchen erlangten Phasenunterschiedes bewirken. Das Maximum des dunklen Streifens wird sich jetzt also nach einem Bezirk des Spectrums verschieben müssen, der vorher eine geringere Phasendifferenz als $^1/_2\lambda$ besass, also nach der rothen Seite des Spectrums. Das umgekehrte würde offenbar eintreten müssen, wenn wir das zweite Gipsplättchen in Subtractionslage einschalten würden. Durch dasselbe würde dann offenbar eine Verminderung des Phasenunterschiedes und dem entsprechend eine Verschiebung des dunklen Streifens nach der violetten Seite des Spectrums hin eintreten müssen.

§ 288. Ein entsprechendes Resultat erhält man nun aber offenbar auch, wenn man ein beliebiges anisotropes Object in die Ebene des Spectrums bringt. Falls dasselbe nur eine geringe Ausdehnung besitzt oder, wie die meisten organisierten Substanzen, in den verschiedenen Theilen eine verschiedene Orientierung des optischen Elasticitäts-Ellipsoids zeigt, muss man natürlich das Object, um die Wirkung desselben auf die verschiedenen Regionen des Spectrums beobachten zu können, ent-

sprechend über dem Spectrum verschieben. Es muss natürlich auch in diesem Falle in der Additionslage eine Verschiebung nach der rothen Seite des Spectrums und in der Subtractionslage nach der violetten Seite hin stattfinden. Umgekehrt kann man den Spectropolarisator natürlich auch dazu benutzen, die Orientierung der optischen Achsen in einem doppelbrechenden Körper zu bestimmen; eine sehr ausgedehnte Anwendung hat der genannte Apparat allerdings bisher zu diesem Zwecke noch nicht gefunden.

4. Die Beobachtungen im prismatisch zerlegten Lichte.

§ 289. Von den verschiedenen mikroskopischen Spectralapparaten sind in erster Linie die sogenannten Spectraloculare zu nennen, die fest mit dem Ocular verbunden sind und an Stelle desselben in den Tubus des Mikroskops hineingeschoben werden. Sind diese Apparate gleichzeitig zu genauen quantitativen Bestimmungen der Absorptionsspectra geeignet, so werden sie auch wohl als Mikrospectralphotometer bezeichnet.

Ausserdem gibt es aber auch noch einige Apparate, bei denen die prismatische Zerlegung des Lichtes unterhalb des Objecttisches stattfindet, so dass durch dieselben genau in der Ebene des zu beobachtenden Objectes ein Spectrum erzeugt wird, und zwar ist dies Spectrum bei dem Hartnack'schen Beleuchtungsapparate für monochromatisches Licht so ausgedehnt, dass bei stärkeren Vergrösserungen das ganze Gesichtsfeld mit annähernd gleichfarbigem Licht beleuchtet ist, während das von dem Engelmann'schen Mikrospectralobjectiv gelieferte Spectrum so klein ist, dass es auch bei starken Vergrösserungen gleichzeitig vollständig übersehen werden kann.

Bevor ich jedoch zur speciellen Beschreibung dieser Apparate übergehe, will ich an dieser Stelle noch hervorheben, dass es bei spectroskopischen Beobachtungen ganz besonders darauf ankommt, alles störende Seitenlicht vom Auge fernzuhalten. Man wird dieselben deshalb auch zweckmässig entweder im Dunkelzimmer oder unter einem entsprechenden Dunkelkasten ausführen (cf. § 141). Ferner ist bei diesen Untersuchungen in den meisten Fällen auch eine starke Beleuchtung nothwendig.

a) Das Spectralocular und Mikrospectralphotometer.

§ 290. Von den verschiedenen Spectralocularen wollen wir an dieser Stelle nur den von Abbe construierten Apparat besprechen. Bei diesem befindet sich der Spalt zwischen den beiden Linsen des Oculars und wird, wie der in Fig. 126 abgebildete Querschnitt durch diesen

Theil des Spectraloculars erkennen lässt, durch zwei Metallplatten (B und C) gebildet, die sich bei Drehung der Schraube F in den Schienen D und E symmetrisch gegeneinander bewegen, während durch die Schraube H die Länge des Spaltes geändert werden kann. Für die Einstellung mikroskopischer Objecte ist es in dieser Hinsicht von Vortheil, dass der Spalt bei maximaler Oeffnung das ganze Gesichtsfeld des Oculars frei lässt.

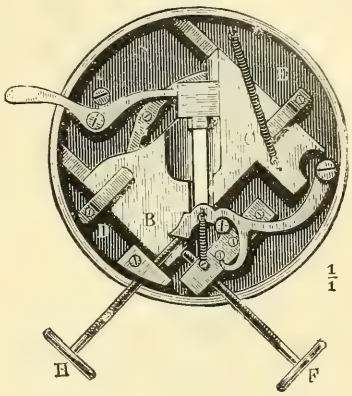


Fig. 126.

Durch den über G sichtbaren Hebel lässt sich ferner ein Vergleichsspectrum einschalten; dasselbe wird durch das bei A, Fig. 127, sichtbare Loch mit Hilfe des punktiert angegebenen Spiegels beleuchtet. Vor diesem Spiegel befindet sich auch eine Vorrichtung, die die Einschaltung von Vergleichsobjecten gestattet.

Ueber dem Ocular befindet sich ferner in der Hülse J, Fig. 127 der Prismensatz, der um die Schraube K derartig drehbar ist, dass er beliebig ein- und ausgeschaltet werden kann; die Sperrklinke L dient dazu, ihn in der richtigen Lage über dem Ocular festzuhalten.

Durch das auf der rechten Seite der Fig. 127 sichtbare Rohr wird schliesslich eine Scala (N) mit Hilfe des Objectivs R auf das Spectrum projiciert; die Beleuchtung desselben geschieht durch den Spiegel O. Die Scala ist so berechnet, dass sie direct die Wellenlängen der verschiedenen Spectralbezirke anzeigt.

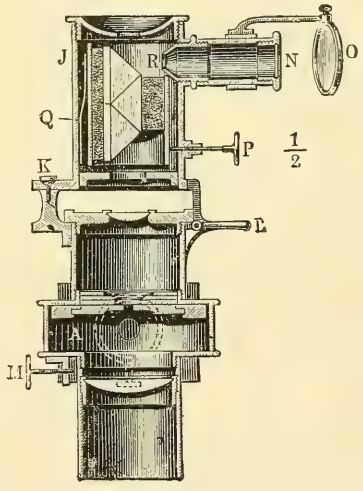


Fig. 127.

§ 291. Die Einstellung des Apparates geschieht in der Weise, dass man zunächst die in verticaler Richtung verschiebbaren Augenlinsen des Oculars auf den Spalt scharf einstellt; dann stellt man das in seiner Hülse bewegliche Scalenrohr so ein, dass man das Spectrum (eventuell die Frauenhofer'schen Linien desselben) und die Scala gleichzeitig scharf sieht; schliesslich ist durch Bewegung der bei P befindlichen Schraube das Prisma so zu orientieren, dass die Linie D auf der Scala auf 0·589 eingestellt ist.

§ 292. In erster Linie wird nun allerdings das Spectralocular dazu benutzt, das Absorptionsspectrum von Lösungen festzustellen, wobei aber vom Mikroskop eigentlich nur der Spiegel zur Verwendung kommt. Man setzt dann die zu untersuchende Flüssigkeit in einem entsprechenden Fläschchen auf den Objecttisch, senkt den Tubus zur Fernhaltung fremden Lichtes möglichst über dasselbe herab und beobachtet im Uebrigen wie bei den gewöhnlichen Spectralapparaten.

§ 293. Ausserdem kann man aber das Spectralocular auch als wirklichen mikroskopischen Hilfsapparat zur Bestimmung des Absorptionsspectrums mikroskopisch kleiner Gegenstände benutzen. Als geeignete Versuchsobjecte kann ich, z. B. mit Eosin oder Fuchsin gefärbte Krystalloide, etwa die von Bertholletia excelsa, empfehlen. Um das Spectrum derselben zu beobachten, benutzt man zweckmässig ein mittelstarkes Objectiv und ersetzt das gewöhnliche Ocular durch das Spectralocular. Von diesem wird sodann der obere Theil bei Seite gedreht und nach etwaiger Erweiterung des Spaltes auf das zu untersuchende Object eingestellt. Sodann wird dieses derartig orientiert, dass sein Bild nach entsprechender Verengung des Spaltes diesen in einer gewissen Zone in seiner ganzen Breite ausfüllt. Wird nun das Prismensystem eingeschaltet, so erblickt man im Spectrum in einem je nach der Ausdehnung des betreffenden Objectes breiteren oder schmäleren Querstreifen, das Absorptionsspectrum der betreffenden Substanz. Allerdings tritt dasselbe nur dann ganz rein auf, wenn der zu untersuchende Körper in ein Medium von gleichem Brechungsindex eingebettet ist. Sonst werden die bei der gewöhnlichen Beobachtung dunkel erscheinenden Begrenzungslinien natürlich auch im Spectrum als dunkle Streifen sichtbar sein. Diese Streifen unterscheiden sich aber von den auf Absorption beruhenden Linien dadurch, dass sie in allen Farbenbezirken des Spectrums die gleiche Intensität besitzen. Ausserdem verschwinden die auf ungleicher Lichtbrechung beruhenden Streifen natürlich um so vollständiger, je grössere Beleuchtungskegel man anwendet.

§ 294. Das von Zeiss construierte Mikrospectralphotometer unterscheidet sich von dem vorstehenden Apparate namentlich dadurch, dass es zwei voneinander unabhängige Spalten besitzt, deren Weite an einer Trommel genau abgelesen werden kann. Der eine dieser Spalten dient als Vergleichsspectrum. Bezüglich weiterer Details verweise ich auf die ausführliche Beschreibung von Engelmann (I).

b) Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht.

§ 295. Der zuerst von Hartnack construierte Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht (Fig. 128), wird entweder an dem Gestell der gewöhnlichen Cylinderblendungen oder an dem des

Abbe'schen Beleuchtungsapparates angebracht und besteht in der Hauptsache aus dem mit Hilfe der Schraube s_2 beliebig enger oder weiter zu stellenden Spalte (Sp), der Collimatorlinse C, den beiden Prismen P_1

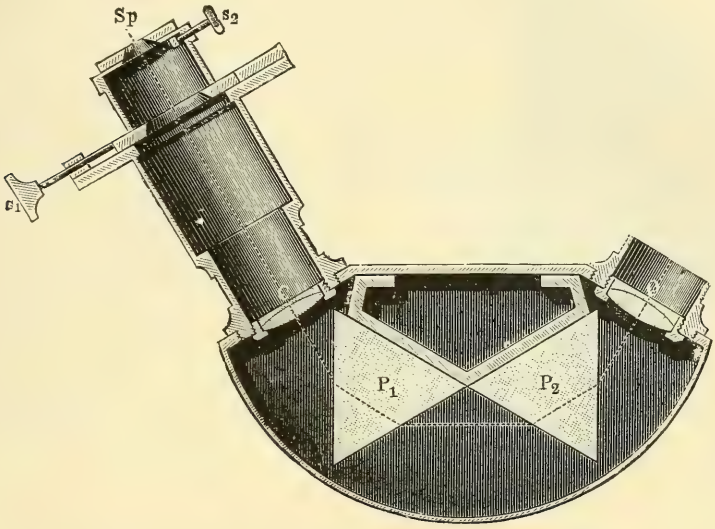


Fig. 128.

und P_2 und der das Spectrum in die Objectebene projicierenden Linse O. Die Schraube s_1 dient schliesslich dazu, durch Verschiebung des Spaltes eine ganz bestimmte Spectralregion in das Gesichtsfeld zu bringen. Das Spectrum ist übrigens in diesem Falle so ausgedehnt, dass bei stärkeren Vergrösserungen das ganze Sehfeld mit annähernd einfarbigem Lichte beleuchtet ist. Als Lichtquelle dient bei einigermaassen starker Vergrösserung entweder directes Sonnenlicht oder helles möglichst weisses Lampenlicht. Zur Beobachtung von Absorptionserscheinungen ist übrigens der folgende Apparat wegen der grösseren Lichtintensität entschieden vorzuziehen.

d) Das Mikrospectralobjectiv.

§ 296. Das Zeiss'sche Mikrospectralobjectiv nach Engelmann (Fig. 129) unterscheidet sich von dem vorigen Apparate namentlich dadurch, dass es ein viel kleineres Spectrum liefert; es wird hier nämlich zur Projection einfach ein gewöhnliches Mikroskop-Objectiv (A, B, C oder D) benutzt, das mit dem engen Gewinde der Linsenfassung dem oberen Ende des Apparates angeschroben wird. Ausserdem gestattet die auf der linken Seite der Fig. 129 sichtbare, getheilte Trommel eine

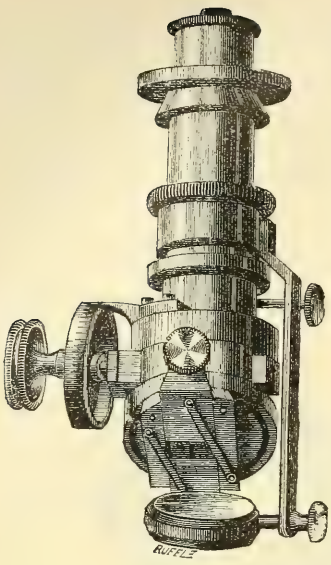


Fig. 129.

directe Ablesung der Spaltbreite. Auch eine Verkürzung des Spaltes ist möglich, und zwar dienen hierzu zwei Schrauben, von denen in der Zeichnung nur die nach vorn gekehrte sichtbar ist.

Der Apparat wurde bisher namentlich bei physiologischen Beobachtungen verwandt, in denen es darauf ankam, den Einfluss des verschiedenfarbigen Lichtes auf mikroskopische Objecte zu untersuchen. Er kann aber auch sehr gut zur Bestimmung der Absorptionsintensität mikroskopisch kleiner Körper benutzt werden. Der gleiche Zweck lässt sich übrigens auch mit Hilfe der in § 284—286 beschriebenen Spectropolarisatoren erreichen.

5. Die Vorrichtungen zur Bildaufrichtung.

§ 297. Namentlich wenn es sich darum handelt, irgend welche Präparationen unter dem Mikroskope auszuführen, kann der Umstand, dass das mikroskopische Bild die entgegengesetzte Orientierung besitzt, als das zu beobachtende Object, hinderlich wirken. Es wurden denn auch verschiedene Apparate construiert, die durch eine abermalige Umkehrung des mikroskopischen Bildes eine gleichsinnige Orientierung von Bild und Object bewirken.

§ 298. Erwähnen will ich zunächst in dieser Hinsicht die sogenannten bildumkehrenden Oculare, die gewöhnlich dem unteren Ende des ausziehbaren Tubus angeschraubt werden, während ein zweites Ocular in der gewönlichen Weise in das obere Ende des Tubus hineingeschoben wird. Das bildumkehrende Ocular wirkt in diesem Falle im wesentlichen wie eine einfache Convexlinse und muss in einen solchen Abstand von dem Objective gebracht werden, dass das von diesem erzeugte Bild vor den Brennpunkt des bildumkehrenden Oculares fällt. Dasselbe erzeugt dann ein abermals umgekehrtes, je nach der Einstellung mehr oder weniger vergrössertes Bild, das mit dem oberen Ocular in der gewöhnlichen Weise betrachtet wird.

§ 299. In einfacherer Weise lässt sich übrigens der gleiche Zweck mit Hilfe des sogenannten Nachet'schen bildumkehrenden

Prismas erreichen. Dasselbe befindet sich, wie Fig. 130 zeigt, innerhalb einer aus geschwärztem Metall bestehenden Hülse, die mit Hilfe der Schrauben a, b und c centriert und auf dem Ocular befestigt wird.

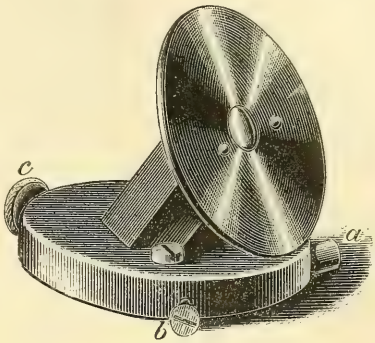


Fig. 130.

Die Wirkungsweise dieses Apparates soll an der Hand der nach Dippel (I, 591) copierten Figuren 131, I—III erläutert werden. Von denselben stellt Fig. I das Prisma in perspectivischer Ansicht, Fig. II im Längs- und Fig. III im Querschnitt dar.

Aus Fig. II ist nun wohl zunächst sofort ersichtlich, dass die von den Punkten a und b auf die Kante PN (= c d Fig. I) auffallenden Strahlen an dieser derartig reflectiert werden, dass der früher mehr nach hinten zu gelegene Punkt b nun nach vorne gerückt erscheint. In der gleichen Weise wird nun aber auch durch Reflexion an den schiefen

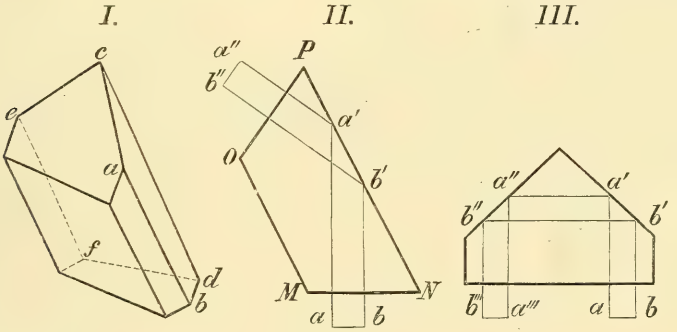


Fig. 131.

Flächen e f d c und a b d c Fig. I im Bilde eine Vertauschung von vorne und hinten bewirkt. Die Vertauschung von rechts und links beruht aber darauf, dass die einzelnen Strahlen gleichzeitig sämmtlich von der einen der oben bezeichneten schiefen Wände auf die andere reflectiert werden, und also, wie das Schema Fig. III zeigt, in Wirklichkeit erst nach doppelter Reflexion aus dem Apparate austreten.

6. Das stereoskopische Ocular.

§ 300. Die zur Erzeugung körperlich erscheinender Bilder dienenden Apparate dürften auf dem Continent bisher nur relativ selten benutzt sein, und auch in England, wo sie sich seit langer Zeit an fast allen

grösseren Stativen befinden, sind mit Hilfe dieser Apparate keine irgendwie beachtenswerte Resultate gewonnen, die sich nicht auch ebenso gut mit Hilfe des monocularen Mikroskops hätten gewinnen lassen. Ich will mich deshalb auch auf die kurze Beschreibung des vollkommensten dieser Apparate, des nach Angaben von Abbe (V) ausgeführten stereoskopischen Oculars von C. Zeiss beschränken.

Dasselbe wird mit Hilfe des Rohres C (Fig. 132) wie ein gewöhnliches Ocular in den Tubus hineingeschoben, so das der vom Objectiv ausgehende Strahlenkegel zunächst auf das Prisma b fällt. Dieses wird nun von dem Prisma a durch eine sehr dünne Luftschicht getrennt, und es tritt infolge dessen an der Grenzfläche zwischen Glas und Luft eine derartige Zerlegung der einfallendeu Strahlenkegel ein, dass ein Theil durch das Prisma a in das die Fortsetzung der Achse bildende Ocular B gelangt, während der andere Theil reflectiert wird und nach abermaliger Reflexion an dem Prisma b' in das zweite Ocular B' eintritt. Da nun die Strahlen auf die geneigte Fläche des Prismas b mit einem Winkel von 38·5° auffallen, der dem Grenzwinkel für das benutzte Glas (c 41°) sehr nahe kommt, so ist die Intensität dieser beiden Strahlenkegel eine solche, dass das in dem Ocular B sichtbare Bild doppelt so hell erscheint, wie das des Oculars B'.

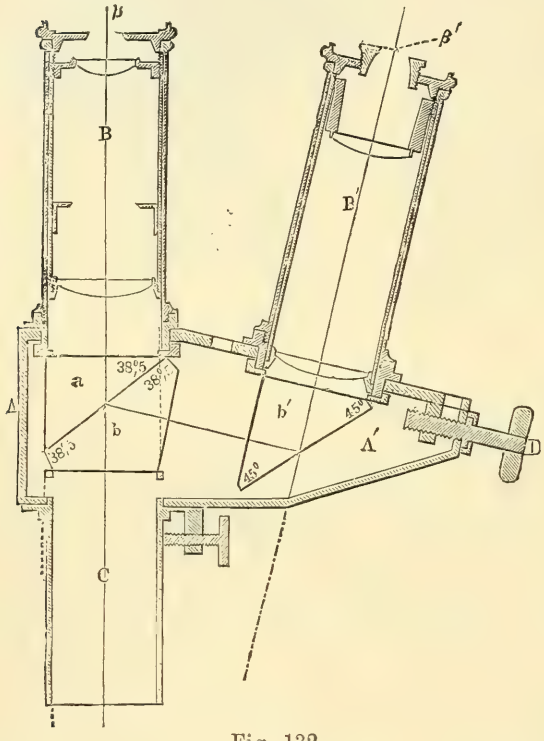


Fig. 132.

Um nun zunächst durch das stereoskopische Ocular gleichzeitig mit beiden Augen hindurchsehen zu können, gibt man den beiden Ocularen durch Drehung der Schraube D, die eine Bewegung des Oculares B' bewirkt, die erforderliche Entfernung; eventuell kann man auch noch durch Ausziehen der in federnden Hülsen beweglichen Oculare die Distanz derselben vermehren, oder durch ungleiches Ausziehen der beiden

Oculare die Wirkung etwa vorhandener Verschiedenheiten der beiden Augen ausgleichen.

Hat man nun den Apparat in dieser Weise eingestellt und betrachtet zunächst nach Aufsetzung der beigegebenen mit kreisförmiger Oeffnung versehenen Oculardeckel ein mikroskopisches Präparat, so wird man finden, dass die von den beiden Ocularen entworfenen Bilder, abgesehen von der verschiedenen Helligkeit, vollständig mit einander übereinstimmen. Man kann das stereoskopische Ocular bei dieser Einstellung auch in der That zur gewöhnlichen binocularen Beobachtung benützen.

§ 301. Um nun aber eine stereoskopische Abbildung zu erreichen, bewirkt man, dass die Bilder der beiden Oculare durch Strahlenkegel von möglichst verschiedener Neigung erzeugt werden. Es werden dann durch die verschiedene Beleuchtung und parallactische Verschiebung der ober- und unterhalb der Einstellungsebene befindlichen Schichten des mikroskopischen Objectes Differenzen in den Bildern erzeugt, die im Beobachter den Eindruck eines körperlichen Bildes hervorrufen. Diese Verschiedenheiten werden nun in den beiden Bildern durch Blendungen hervorgerufen, die in der Ebene der Austrittspupille (cf. § 87) zwischen Ocular und Auge eingeschaltet werden. Wie wir a. a. O. sahen, stellt die Austrittspupille des Oculars das Bild der Objectivöffnung dar, und es müssen durch dieselbe alle diejenigen Strahlen hindurchgehen, die überhaupt von dem zu beobachtenden Objecte aus ins Auge gelangen. Bringen wir nun in die Ebene der Austrittspupille eine halbkreisförmige Blendung, die genau die Hälfte von jener verdeckt, so hat dies offenbar den gleichen Effect, als wenn wir das betreffende Object mit Strahlen beleuchtet hätten, die nur die entsprechende Hälfte der Eintrittspupille des Objectivs ausfüllen, oder als wenn wir die eine Hälfte der Lichtquelle verdunkelt hätten.

Orientiert man nun die beiden mit halbkreisförmiger Oeffnung versehenen Oculardeckel in der Weise, dass die beiden Oeffnungen entweder beide nach innen oder nach aussen gekehrt werden, so werden offenbar die beiden Bilder die für die stereoskopische Wirkung erforderliche Verschiedenheit der Beleuchtung zeigen.

§ 302. Wie von Abbe (V) ausführlich nachgewiesen wurde, ist nun diese stereoskopische Wirkung um so vollständiger, je geringer der Oeffnungswinkel der einfallenden Beleuchtungskegel. Um nun aber bei relativ geringem Oeffnungswinkel eine möglichst grosse Winkelabweichung zu erhalten, bringt man bei Benutzung von Systemen mit grosser Apertur zweckmässig in den Blendungsträger des Abbe'schen Beleuchtungsapparates eine der beiden dem Apparate beigegebenen Blendungen. Diese besitzen zwei kreisförmige Oeffnungen, durch die dem zu

beobachtenden Objecte zwei mit möglichst grosser Divergenz versehene Strahlenkegel zugeführt werden, von denen man dann, um eine stereoskopische Wirkung zu erzielen, mit dem Halbdiaphragma je eines über jedem Ocular abblendet.

§ 303. Man kann nun übrigens auch bereits dadurch eine gewisse stereoskopische Wirkung erzielen, dass man nur bei dem einen Ocular — zweckmässig bei dem lichtschwächeren B' — ein Halbdiaphragma anwendet, während man das andere mit einem die ganze Austrittspupille des Oculars durchlassenden Oculardeckel versieht. Es tritt dann natürlich eine geringere Schwächung der Helligkeit des mikroskopischen Bildes ein.

Erwähnen will ich schliesslich noch, dass man ein genaues Zusammenfallen der Halbdiaphragmen mit der Austrittspupille des Oculars dadurch bewirkt, dass man den auf der Platte des betreffenden Oculardeckels befindlichen Aufsatz durch Schrauben solange auf- oder abwärts bewegt, bis sich die als heller Halbkreis im Centrum der Blendung sichtbare Austrittspupille beim Bewegen des Auges gegen das Diaphragma nicht mehr verschiebt.

Um sich von der Wirkungsweise des stereoskopischen Oculars zu überzeugen, kann man z. B. frei präparierte Stammspitzen von Elodea canadensis als geeignete Beobachtungsobjecte benutzen.

7. Die Mikrophotographie.

§ 304. Während die Mikrophotographie noch vor wenigen Jahren nur in relativ wenigen Fällen eine wirklich nutzbringende Anwendung gefunden hatte, ist dieselbe in der letzten Zeit immer mehr in Aufnahme gekommen, und es kann auch jetzt nicht mehr in Abrede gestellt werden, dass mit Hilfe der Mikrophotographie von sehr verschiedenartigen Objecten am schnellsten und sichersten brauchbare Abbildungen erhalten werden können. Diese haben überdies noch den Vortheil, dass sie von der subjectiven Auffassung des Darstellers in höherem Grade unabhängig sind, als dies bei Zeichnungen der Fall ist. Es dürfte somit auch in dem vorliegenden Buche eine Darstellung der mikrophotographischen Methoden am Platze sein; übrigens habe ich mich darauf beschränkt, aus der bereits ziemlich umfangreichen Specialliteratur einige wenige besonders empfehlenswerte Methoden auszuwählen, die ich überdies zum grössten Theil durch eigene Erfahrung kennen gelernt habe.

a) Stativ und Camera.

§ 305. Die meisten mikrophotographischen Apparate sind so eingerichtet, dass sie an den gewöhnlichen Mikroskopen angebracht werden können und bestehen somit im wesentlichen aus einer photographischen

Cassette, die in irgend einer Weise mit dem Tubus des Mikroskops in lichtdichte Verbindung gebracht wird. Aus verschiedenen Gründen ist es übrigens empfehlenswert, die photographische Cassette von einem besonderen Stative tragen zu lassen und nicht etwa einfach dem Mikroskoptubus aufzusetzen.

Wünschenswert ist es ferner, den Abstand zwischen Mikroskop und Cassette behufs Erlangung verschiedener Vergrösserungen innerhalb nicht allzugeringer Grenzen variieren zu können, was bei den kleineren Apparaten gewöhnlich durch eine verticale Verschiebung der Cassette erreicht wird, während die grösseren Stative meistens eine in horizontaler Richtung verschiebbare Camera besitzen.

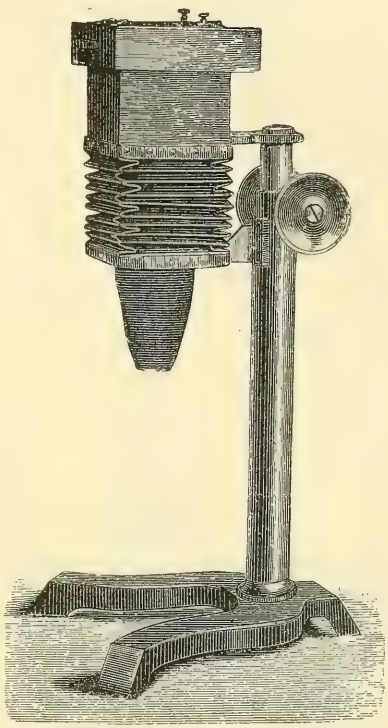


Fig. 133.

§ 306. Verfasser hat nun bisher nur das in Fig. 133 abgebildete mikrophotographische Stativ von Seibert, mit dem sich auch in der That ganz brauchbare Abbildungen erzielen lassen, aus eigener Anschauung kennen gelernt. Bei demselben ist ausschliesslich die Camera in verticaler Richtung verschiebbar. Die Verbindung zwischen Camera und Mikroskop geschieht mit Hilfe des an der Camera befindlichen Sackes von undurchsichtigem Tuch, der über den Tubus hinübergeschoben und zur Fernhaltung alles fremden Lichtes mit Gummiring befestigt wird. Ein gewisser Nachtheil dieses Apparates besteht übrigens darin, dass er, sobald man das mikroskopische Object zur Verschiebung des Präparates oder dergl. direct beobachten will, jedesmal ganz bei Seite gestellt werden muss.

§ 307. So dürfte denn auch z. B. der in Fig. 134 abgebildete mikrophotographische Apparat von C. Reichert in mancher Beziehung vor dem Seibert'schen den Vorzug verdienen. Bei demselben ist der die Camera tragende Stahlcylinder, in dem gusseisernen Stativ St um eine verticale Achse drehbar, so dass die Camera leicht bei Seite geschoben werden kann. Zur Fixierung desselben dient die Schraube bei C. An dem Stahlcylinder sind ferner sowohl die Cassette c als auch das untere Ende der Camera (D), das durch A B in lichtdichte Verbindung

mit dem Ocular gebracht wird, in verticaler Richtung beweglich. Zur Fixierung dienen in diesem Falle die Schrauben bei a und b. Zur Verticalstellung des Apparates dienen ferner die beiden bei s' sichtbaren Schrauben.

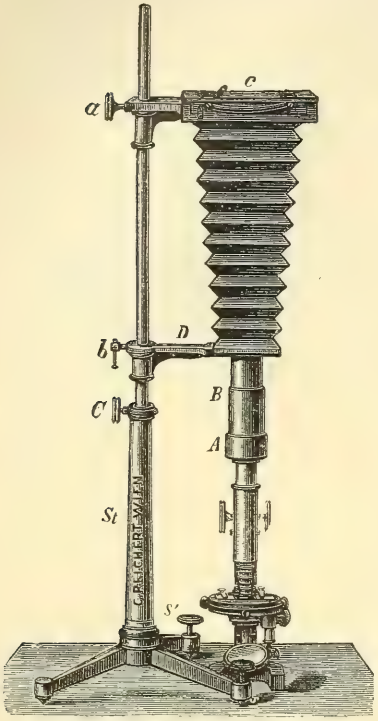


Fig. 134.

§ 308. Demjenigen, der die Mittel nicht zu scheuen braucht, ist nun aber jedenfalls die Anschaffung des grossen mikrophotographischen Apparates von C. Zeiss, der gleichzeitig auch zur Projection mikroskopischer Bilder zum Zwecke der objectiven Demonstration benutzt werden kann, anzuempfehlen.

§ 309. Erwähnen will ich an dieser Stelle schliesslich noch, dass der § 205 beschriebene Edinger'sche Zeichenapparat von Leitz neuerdings auch mit einer zu mikrophotographischen Aufnahmen dienenden Camera versehen ist. Es wird zu diesem Zwecke auf die Zeichenebene die in Fig. 135 abgebildete Camera (E) gebracht und mit Hilfe der beiden Klemmschrauben bei F festgeschroben. Zur Einstellung des Apparates wird eine Cassette in den selben hineingeschoben, die an Stelle der photographischen Platte eine Papplatte trägt; indem man dann durch die mit einem lichtdichten Deckel versehene Oeffnung D in die Camera hineinsieht, stellt man das von der Linse C entworfene Bild auf jene Papplatte ein. Ich erwähne jedoch, dass diesem Apparate nach dem Urtheil von Neuhauss (cf. Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1894. Bd. XI. p. 27) verschiedenartige Mängel anhaften, so namentlich die bei einigermaassen grossem Oeffnungswinkel ganz erhebliche Krümmung der Bildfläche und eine unzureichende Stabilität des ganzen Apparates. Es wäre zu hoffen, dass es der Firma Leitz gelingen möchte, diese Mängel zu beseitigen.

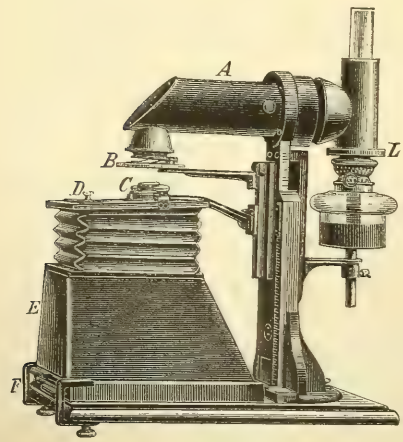


Fig. 135.

§ 310. Bei Aufstellung des mikrophotographischen Apparates ist möglichst dafür zu sorgen, dass derselbe vor Erschütterungen jeder Art geschützt ist und kann diese Rücksicht eventuell auch bei der Wahl des Arbeitszimmers maassgebend sein. In grösseren Instituten werden übrigens häufig mit den Dielen des Fussbodens nicht zusammenhängende Steinpfeiler zur Verfügung stehen. Für andere Fälle empfiehlt Neuhauss (I, 39) unter die Füsse der Gestelle und Tische, welche Mikroskop und photographische Camera tragen, eine dreifache Schicht von dickem Filz zu bringen, durch die leichte Erschütterungen völlig unschädlich gemacht werden.

b) Der zur Projection dienende optische Apparat.

§ 311. Ein von einem beliebigen Linsensystem entworfenes Bild kann natürlich nur dann auf die photographische Platte eine Wirkung ausüben, wenn in jener Ebene eine wirkliche Strahlenvereinigung stattfindet; es können also auch nur reelle Bilder photographiert werden. Da nun aber, wie wir § 86 sahen, das beim gewöhnlichen Mikroskopieren vom Auge beobachtete Bild ein virtuelles Bild darstellt, so leuchtet ohne weiters ein, dass das bei der Mikrophotographie benutzte Bild in anderer Weise zustande kommen muss.

§ 312. Man hat denn auch zunächst vielfach zur Erzeugung des zu photographierenden Bildes das Objectiv allein benutzt, das ja wie eine einfache Convexlinse wirkt und somit von dem in der Nähe der Brennweite befindlichen Objecte ein vergrössertes reelles Bild erzeugt. Durch Annäherung des Objectes an den Brennpunkt kann dies Bild beliebig weit hinausgeschoben und auch beliebig vergrössert werden. Bei einigermaassen starken Objectiven steht dem jedoch entgegen, dass dieselben nur in einer ganz bestimmten Entfernung ein von den verschiedenen Abbildungsfehlern (sphärische und chromatische Aberration etc.) freies Bild liefern, und zwar ist dies natürlich die Entfernung, in der das vom Objetiv entworfene Bild bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung entsteht. Wollte man nun aber das in dieser Entfernung (c. 16 *cm*) entstandene Bild mit der Camera auffangen, so würde dasselbe natürlich nur eine sehr geringe Grösse besitzen und eine nachherige Vergrösserung erfordern.

§ 313. Aus diesem Grunde ist denn auch bei einigermaassen starker Vergrösserung der Benutzung von Objectiv und Ocular unstreitig der Vorzug zu geben. Damit nun aber in diesem Falle ausserhalb des Mikroskopes ein auf der Visierscheibe der Camera auffangbares reelles Bild entsteht, muss, wie aus Fig. 136 ersichtlich ist, das von dem Objetiv und der Collectivlinse des Oculars erzeugte Bild ($O_2 P_2$)

statt innerhalb der einfachen Brennweite der Augenlinse, wie beim gewöhnlichen Mikroskopieren, zwischen der einfachen und doppelten Brennweite derselben liegen, so dass also ein umgekehrtes vergrössertes Bild ($O_3 P_3$) entsteht. Damit nun das Bild des Objectes an jener Stelle entsteht, muss offenbar auch das vom Objectiv allein erzeugte Bild ($O_1 P_1$), dem Objectiv näher liegen, wie bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung, denn die Bilder $O_1 P_1$ und $O_2 P_2$ bewegen sich ja in gleicher Richtung. Soll nun aber $O_1 P_1$ sich dem Objective nähern, so muss sich das Object OP von demselben entfernen oder mit anderen Worten: wir müssen den Abstand von Object und Objectiv vermehren. Es ergibt sich hieraus also, dass wir den Tubus heben müssen, wenn derselbe, nachdem er zuvor für die directe mikroskopische Beobachtung eingestellt war, zum Photographieren benutzt werden soll.

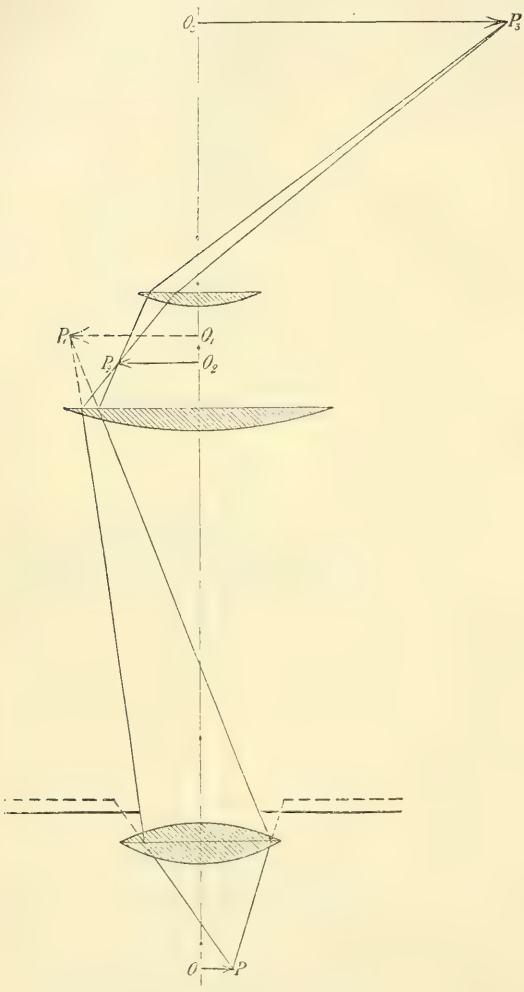


Fig. 136.

§ 314. Zu beachten ist nun aber wiederum, dass bei der in Fig. 136 dargestellten Anordnung des optischen Apparates das vom Objectiv entworfene Bild nicht in derjenigen Entfernung entsteht, für welche jenes speciell genau corrigiert ist. Um nun diesem Uebelstande abzuhelfen, wurde von Neuhauss (II) der Vorschlag gemacht, das vom Objectiv entworfene Bild an der gewöhnlichen Stelle entstehen zu lassen und nur durch Entfernung der Augenlinse von diesem Bilde zu bewirken, dass dieses ausserhalb der Brennweite der Augenlinse fällt und somit von dieser nach aussen projiciert wird. Es ist hierzu eine Verlängerung des Oculars um 1—2 *cm* nothwendig, die durch eine

Papphülse bewirkt werden kann, die über die Messinghülse des Oculars geschoben wird und an ihrem oberen Ende die Augenlinse trägt; noch geeigneter ist aber wohl die an den meisten Messocularen (cf. § 208) befindliche Vorrichtung zur verticalen Verschiebung der Augenlinse. Zur Einstellung kann man in diesem Falle den Umstand benutzen, dass bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung das von Objectiv und Collectivlinse des Oculars erzeugte Bild (cf. § 90) in der Ebene der Ocularblendung gelegen ist. Hat man also das mikroskopische Object auf diese Ebene eingestellt, so muss die Augenlinse bei richtiger Stellung die Begrenzung des Gesichtsfeldes scharf und ohne Farbensäume auf der Visierscheibe der Camera wiedergeben. Ist die Augenlinse der Gesichtsfeldblendung dagegen zu nahe, so erhält man auf der Visierscheibe einen blauen, bei zu grosser Entfernung einen rothen Saum.

§ 315. In noch vollkommenerer Weise wird nun aber die Entstehung möglichst vollständig corrigierter Bilder durch die zunächst für den Gebrauch mit den Apochromaten bestimmten Projectionsoculare von Zeiss erreicht. Diese bestehen aus einer wie bei den gewöhnlichen Ocularen am unteren Ende befindlichen Collectivlinse und einem sorgfältig corrigierten Linsensysteme, das namentlich frei ist von secundärer Farbenabweichung und von Focusdifferenz zwischen optischen und chemischen Strahlen.

Durch die Collectivlinse wird nun zunächst genau an der gleichen Stelle wie bei den gewöhnlichen Compensationsocularen ein reelles Bild des Objectes erzeugt, und dieses wird dann mit Hilfe des achromatischen und aplanatischen Linsensystems unter gleichzeitiger Vergrösserung nach aussen projiciert. Da nun ferner das Linsensystem in der Richtung der Achse verschiebbar ist, kann die Stärke dieser Vergrösserung innerhalb weiter Grenzen variiert werden.

Da die Projectionsoculare auf die gleiche chromatische Differenz der Vergrösserung corrigiert sind, wie die Compensationsoculare, so sind sie in erster Linie mit den Apochromaten zu benutzen, übrigens können sie nach dem Zeiss'schen Katalog auch mit gewöhnlichen achromatischen Objectiven von grösserer Apertur vortheilhaft verwandt werden.

Die Einstellung geschieht in diesem Falle in der Weise, dass man, nachdem man das Object zuvor mit einem gewöhnlichen Ocular eingestellt hat, nun das obere Linsensystem des Projectionsoculars solange verschiebt, bis die in demselben befindliche Blendung auf der Visierscheibe vollkommen scharf begrenzt erscheint. Sodann wird mit der Mikrometerschraube das Bild des zu photographierenden Objectes auf der Visierscheibe scharf eingestellt.

§ 316. Wenn man schliesslich bereits über eine gewöhnliche photographische Camera und eine gute Landschaftslinse verfügt,

so kann man mikrophotographische Aufnahmen auch in der Weise ausführen, dass man diese Linse auf das virtuelle Bild einstellt, das bei der gewöhnlichen Beobachtung in der Entfernung der deutlichen Sehweite von dem mit Objectiv und Ocular versehenen Mikroskop entworfen wird. Die lichtdichte Verbindung zwischen dem Ocular und der photographischen Linse kann dann leicht durch eine an der Linsenfassung befestigte Hülse von undurchsichtigem Tuch hergestellt werden.

§ 317. Die genaue Bestimmung der Vergrösserung einer Photographie kann man offenbar in der Weise ausführen, dass man, ohne sonst an der Einstellung des Apparates etwas zu ändern, das photographische Object durch ein Objectmikrometer ersetzt und die Grösse des von demselben auf der Visierscheibe entworfenen Bildes bestimmt. Man kann zu diesem Zwecke in die Visierscheibe direct eine Millimeterscala einritzen lassen, oder sich auch in der Weise behelfen, dass man auf der Unterseite derselben einen Papiermaasstab anklebt und das Bild des Objectmikrometers in die Fortsetzung dieses Maassstabes fallen lässt. Das Verhältnis zwischen der so gefundenen Ausdehnung des Bildes und den entsprechenden wirklichen Werten des Mikrometers gibt natürlich direct die Vergrösserung an.

§ 318. Bei Anwendung der Zeiss'schen Apochromate und Projectionsoculare lässt sich die Vergrösserung übrigens auch leicht mit annähernder Genauigkeit auf rechnerischem Wege ermitteln. Man erhält dieselbe nämlich, wenn man den (in *mm* ausgedrückten) Abstand des Bildes vom Ocular durch die Brennweite des benutzten Objectivs dividiert und mit der Nummer des angewandten Projectionsoculars multipliciert. So liefert z. B. das Objectiv 3 *mm* Brennweite mit dem Projectionsocular 2 und dem Bildabstand 1500 *mm* eine Vergrösserung:

$$\frac{1500}{3} \times 2 = 1000.$$

c) Die Beleuchtung.

§ 319. Als Lichtquelle benutzt man wohl bei mikrophotographischen Aufnahmen am zweckmässigsten künstliches Licht, da dieses am leichtesten zu jeder beliebigen Zeit constant zu erhalten ist und auch eine für die meisten Zwecke völlig ausreichende Lichtstärke besitzt. Abgesehen von dem jedenfalls nicht jedermann zugänglichen elektrischen Lichte ist nun wohl jedenfalls das bereits § 123 erwähnte Auer'sche Gasglühlicht am meisten zu empfehlen. Uebrigens lassen sich auch mit gewönlichen Gas- oder Petroleumflammen gute Photographien erhalten.

Ist zu befürchten, dass durch die Lichtquelle eine zu starke Erwärmung des Präparates oder der Objectivlinsen eintritt, so thut man

gut, zur Absorption der Wärmestrahlen eine am besten mit Alaunlösung gefüllte Cuvette zwischen Lichtquelle und Mikroskop einzuschalten.

§ 320. Bei Einstellung des Beleuchtungsapparates ist ferner mit grosser Sorgfalt darauf zu sehen, dass der gesammte Oeffnungswinkel des Objectivs und auch das Gesichtsfeld gleichmässig erhellt wird. Verstösse hiergegen machen sich auf der Photographie viel mehr bemerklich als bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beobachtung. Man wird deshalb auch fast ausnahmslos zwischen die Lichtquelle und den Spiegel des Mikroskops eine grosse Sammellinse einschalten müssen, verfährt aber bei Einstellung dieser verschiedenen Theile des zur Beleuchtung dienenden Apparates zweckmässig in der gleichen Weise wie bei der gewöhnlichen mikroskopischen Beleuchtung (cf. § 142), indem man das nach Wegnahme des Oculars im Tubus sichtbare Bild der Lichtquelle ins Auge fasst und dafür sorgt, dass dieses mit möglichst gleichmässiger Intensität den ganzen Oeffnungwinkel des Objectivs ausfüllt.

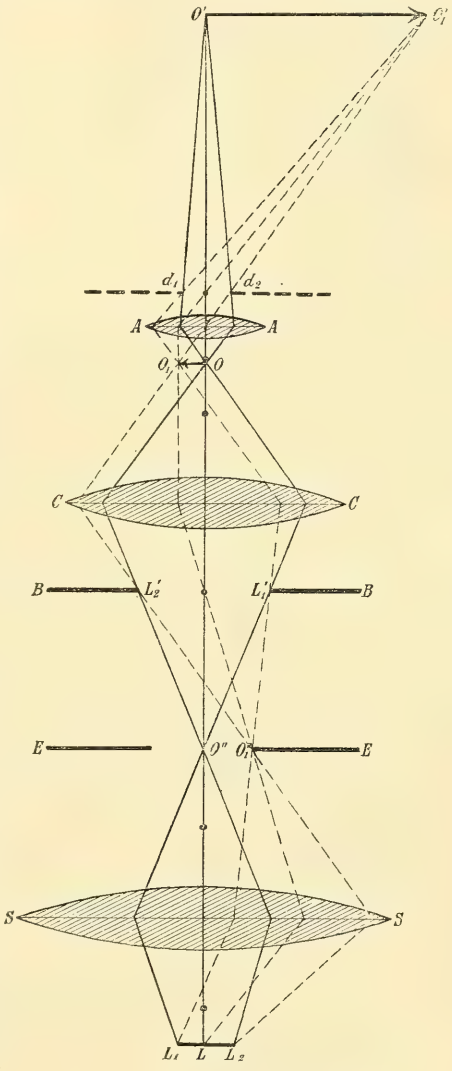


Fig. 137.

§ 321. Erwähnen will ich übrigens noch, dass viele Autoren anempfehlen, den Beleuchtungsapparat so aufzustellen, dass das Bild der Lichtquelle genau in die Ebene des zu photographierenden Objectes fällt, was ja namentlich mit Hilfe des in verticaler Richtung beweglichen Beleuchtungsapparates leicht ausführbar ist. Von C. Zeiss wurde sogar zu diesem Zwecke ein besonderer achromatischer und centrierbarer Condensor construiert.

§ 322. Sehr zweckmässig ist übrigens auch das von A. Köhler (I) vorgeschlagene Beleuchtungsverfahren, bei dem mit Hilfe einer grossen Sammellinse (S S, Fig. 137) in der Brennebene (B B) des Condensors (C C) ein Bild (L'_1 L'_2) der

Lichtquelle ($L_1 L_2$) erzeugt wird, das durch in dieser Ebene angebrachte Blendungen beliebig verkleinert werden kann. Es werden dann offenbar die verschiedenen Punkte des oberhalb der oberen Brennebene des Condensors befindlichen Objectes ($O O_1$) sämmtlich von Strahlenkegeln getroffen, deren Basis das Bild $L'_1 L'_2$ der Lichtquelle ist, die also auch alle die gleiche Helligkeit besitzen. Ferner lässt sich aber auch durch Anbringung einer Blendung zwischen Condensor und Sammellinse in der der Objectebene ($O O_1$) zugeordneten Ebene (E E) das Gesichtsfeld beliebig verringern oder erweitern.

Als Eintrittspupille des Mikroskops functioniert in diesem Falle offenbar das in der Brennebene des Objectivs gelegene Bild ($d_1 d_2$), welches von dem Condensor und Objectiv von dem Bild ($L'_1 L'_2$) der Lichtquelle entworfen wird.

Der genannte Autor benutzte nun als Sammellinse in der Regel eine Biconvexlinse von circa 10 *cm* Durchmesser und 25 *cm* Brennweite und stellt dieselbe bei Anwendung starker Objective so auf, dass ihr Abstand von dem Condensor, wie in der Figur, grösser ist als die doppelte Brennweite des letzteren. Es vermag so offenbar das Bild ($L'_1 L'_2$) der Lichtquelle $L_1 L_2$ auch grosse Oeffnungswinkel des Condensors vollkommen auszufüllen. Handelt es sich dagegen, wie bei schwächeren Vergrösserungen, um ein grosses Sehfeld, so wird die Sammellinse dem Condensor genähert, so dass der der Gesichtsfeldblende $O'' O''$ entsprechende Theil des Objectes ($O_1 O$) möglichst gross wird.

§ 323. Besonders hervorheben möchte ich aber noch an dieser Stelle, dass man nach den im hiesigen botanischen Institut ausgeführten Versuchen meines Collegen Dr. H. Fischer, dem ich für die Erlaubnis, seine Erfahrungen hier kurz mitzutheilen, zu Dank verpflichtet bin, namentlich dann, wenn es sich um ungefärbte Präparate handelt, die sich bei der gewöhnlichen Beleuchtung wenig abheben, durch Anwendung der § 139 beschriebenen Dunkelfeldbeleuchtung sehr brauchbare photographische Aufnahmen erhalten kann. Es wurden in dieser Weise z. B. von ungefärbten Holzlängsschnitten und in Canadabalsam eingeschlossenen zuvor entfärbten Farnprothallien Photographien dargestellt, die selbst bei schwacher Vergrösserung noch sehr feine Details erkennen liessen.

d) Die Einstellung und Exponierung.

§ 324. Um das zu photographierende Bild genau auf die Ebene der lichtempfindlichen Platte einzustellen, bringt man bekanntlich bei der gewöhnlichen Camera in jene Ebene die aus mattem Glase bestehende Visierscheibe, die den in der Bildebene sich schneidenden Strahlenkegel diffus zerstreut und dadurch das gesammte reelle Bild gleichzeitig zu

überblicken und auf seine Schärfe zu prüfen gestattet. Bei den mikrophotographischen Apparaten wird nun die Visierscheibe gewöhnlich einfach an Stelle der photographischen Platte in die Cassette hineingelegt; doch ist es infolge der geringen Lichtstärke meist nicht möglich, eine mattgeschliffene Glasplatte zu diesem Zwecke zu verwenden. Vielmehr benutzt man hier zweckmässig eine gewöhnliche Glasplatte, in die auf der in der Cassette nach unten gekehrten Seite eine Anzahl von Linien eingeritzt ist.

Zur scharfen Einstellung benutzt man eine Lupe, die häufig gleich mit dem Apparate derartig verbunden ist, dass sie über der Visierscheibe nach allen Richtungen verschoben werden kann; andernfalls kann man zu diesem Zwecke auch z. B. die in Fig. 138 abgebildete Einstell-Lupe *) verwenden.

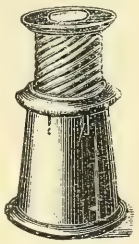


Fig. 138.

Offenbar ist der Apparat dann richtig eingestellt, wenn man gleichzeitig die auf der Visierscheibe eingeritzten Linien und das mikroskopische Bild scharf sieht. Da man nun aber in dieser Weise stets nur einen kleinen Theil des Gesichtsfeldes überblicken kann, so ist es vortheilhaft, ausserdem auch noch eine Visierscheibe aus mattgeschliffenem Glase einschalten zu können, die zwar zur scharfen Einstellung ungeeignet ist, aber doch über die allgemeine Orientierung des mikroskopischen Bildes Aufschluss zu geben vermag.

§ 325. Vor allem ist nun aber bei der Einstellung des mikrophotographischen Apparates die chromatische Aberration der zur Projection dienenden Linsen zu berücksichtigen. Wie wir § 51 sahen, sind in dieser Beziehung die meisten Systeme derart corrigiert, dass sie zwar für die rothen und blauen Strahlen die gleiche Brennweite besitzen, dass aber die zwischenliegenden Strahlen, und namentlich auch die in erster Linie bei Photographien in Betracht kommenden violetten und ultravioletten Strahlen keineswegs in dem gleichen Punkte vereinigt werden. Diese Focusdifferenz bewirkt nun, dass bei der Beleuchtung mit weissem Lichte das für die auf unser Auge am meisten wirkenden gelben Strahlen scharf eingestellte Bild für die violetten und ultravioletten Strahlen, die sich in einer anderen Ebene vereinigen, nicht eingestellt ist und dass man infolge dessen bei einer derartigen Einstellung ganz unbrauchbare Photographien erhalten würde. Man kann nun die schädliche Wirkung der Focusdifferenz namentlich dadurch verhindern, dass man durch sogenannte Lichtfilter einen solchen Theil des von der Lichtquelle ausgehenden Lichtes absorbieren lässt, dass der hindurchgehende

*) Dieselbe ist, wie auch die im Folgenden genannten Utensilien, zu beziehen von O. Perutz (München).

Rest keine merkliche Focusdifferenz besitzt. Für die gewöhnlichen Bromsilber-Gelatine-Platten kann man zu diesem Zwecke Kupferoxydammoniak benutzen, das bei einiger Concentration nur blaues, violettes und ultraviolettes Licht hindurchlässt. Man bringt diese Lösung in einer parallelwandigen Cuvette, die man z. B. in der in Fig. 139 abgebildeten Form von Leiboldt in Köln beziehen kann, zwischen die Lichtquelle und das zu photographierende Object. Will man auch die ultravioletten Strahlen abblenden, so kann dies durch eine 1·5% Lösung von Aesculin oder schwefelsaurem Chinin geschehen, die man in einer zweiten Cuvette vor oder hinter der ersteren einschaltet.

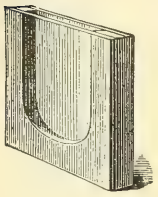


Fig. 139.

§ 326. Für die namentlich für grünes und gelbes Licht empfindlichen Erythrosin- oder Eosinsilberplatten kann man zweckmässig das von Zettnow (1) angegebene Lichtfilter anwenden, das durch Auflösen von 160 *gr* trockenem Kupfernitrat und 14 *gr* reiner Chromsäure in einer derartigen Wassermenge, dass das Gesammtvolum 250 cm^3 beträgt, dargestellt wird. Dasselbe lässt in 1 *cm* dicker Schicht nur gelbgrüne Strahlen hindurchtreten. Für die meisten Zwecke ausreichend fand Zettnow auch eine 1—2 *cm* dicke Schicht einer wässerigen Lösung von 175 *gr* Kupfervitriol und 17 *gr* Kaliumbichromat auf 1 Liter Flüssigkeit.

Immerhin ist doch auch mit der Anwendung derartiger Lichtfilter eine starke Lichtabsorption verbunden und somit speciell bei starken Vergrösserungen eine sehr lange Expositionsdauer nothwendig. Man wird deshalb zur Zeit, wo dies irgend angeht, zu photographischen Aufnahmen bei starken Vergrösserungen die sogenannten apochromatischen Objective benutzen, durch die die auf unser Auge am stärksten wirkenden Strahlen und die speciell chemisch wirksamen in derselben Ebene vereinigt werden, so dass also eine Focusdifferenz überhaupt nicht vorhanden ist.

§ 327. Zu beachten ist jedoch, dass auch die apochromatischen Objective — namentlich bei grossem Oeffnungswinkel des angewandten Beleuchtungskegels — infolge der Wölbung des Gesichtsfeldes nicht bei gleicher Einstellung in allen Theilen gleich scharfe Bilder geben. Im allgemeinen thut man nun gut, die Einstellung so zu wählen, dass man nicht gerade auf das Centrum des Gesichtsfeldes, sondern auf eine zwischen dem Centrum und dem Rande des Gesichtsfeldes gelegene Zone am schärfsten einstellt. Man wird so in einem grösseren Theile der Photographie eine scharfe Zeichnung erhalten.

§ 328. Hat man das mikroskopische Bild in der oben geschilderten Weise scharf auf die Visierscheibe eingestellt, so thut man gut, nach

Wegnahme derselben nochmals in den Apparat hineinzusehen, um sich davon zu überzeugen, dass nicht etwa von irgendwoher Nebenlicht in die Camera gelangt. Ist dies nicht der Fall, so kann man nun an Stelle der Visierscheibe die lichtempfindliche Platte in den Apparat hineinbringen, doch muss man natürlich zuvor durch eine zwischen Mikroskop und Lichtquelle eingeschaltete Carton- oder Pappscheibe das Licht von der Camera abschliessen.

§ 329. Das Einlegen der Platte in die Cassette hat natürlich im Dunkelzimmer zu geschehen, und zwar sind die meisten neueren Plattenarten so empfindlich, dass sogar eine kurze Belichtung der Platte mit dem von der Dunkelkammerlampe ausgehenden rothen Licht die Güte des Bildes beeinträchtigen würde; man muss das Einlegen der Platte also in vollster Dunkelheit ausführen, was ja auch, sobald man sich die nöthigen Handgriffe etwas eingeübt hat, keine Schwierigkeit macht. Zu achten ist hierbei nur darauf, dass die mit der lichtempfindlichen Schicht überzogene Seite der Platte nach unten gerichtet ist.

Man ist natürlich im Dunkeln auch in dieser Beziehung lediglich auf sein Gefühl angewiesen; doch lernt man sehr bald an der verschiedenen Glätte die beiden Seiten der Platte von einander zu unterscheiden. Der Anfänger mag auch beachten, dass sich die Rückseite der Platte, namentlich am Rande, infolge von Flecken der lichtempfindlichen Substanz fast immer etwas ungleichmässig anfühlt.

Nach dem Einlegen der Platte wird nun die Cassette geschlossen in den Apparat hineingeschoben und sodann der Schieber geöffnet, wobei natürlich jede Verschiebung des Apparates zu vermeiden ist. Um nun die Exposition beginnen zu lassen, ist natürlich nur noch nöthig, die zwischen Lichtquelle und Mikroskop eingeschaltete Pappscheibe zu entfernen.

§ 330. Die Dauer der Exposition ist natürlich ganz von der Lichtintensität des mikroskopischen Bildes abhängig; diese wird aber ausser von der Stärke der Vergrösserung und der Beschaffenheit der Lichtquelle namentlich von der Grösse der angewandten Blendung beeinflusst. Bei sehr lichtstarken Bildern kann man nun zur Bestimmung der Expositionsdauer unter Umständen das bei der gewöhnlichen Photographie mit Vortheil zu verwendende Photometer Decoudun benutzen. Ich erwähne in dieser Hinsicht, dass die auf diesem Instrumente abgelesenen Expositionszeiten sich auf gewöhnliche Monckhoven-Platten beziehen, während die Eosinsilberplatten eine etwa doppelt so lange Expositionszeit erfordern.

§ 331. Bei lichtschwachen und künstlich durch Lichtfilter oder dergl. gefärbten Bildern ist dieser Apparat aber leider nicht anwendbar; man wird dann wohl meistens am einfachsten durch Ausprobieren die

richtigste Expositionsdauer feststellen. Allerdings gibt es hier immerhin noch einige Methoden, durch die dies Ausprobieren bedeutend erleichtert werden kann. Ich erwähne in dieser Hinsicht nur die von Zeiss angegebene Methode, die allerdings an den Besitz einer besonderen Cassette gebunden ist. Bei dieser werden 6 verschiedene Theile der Platte ein und demselben durch einen entsprechenden Spalt begrenzten Theile des photographischen Bildes nach einander verschieden lange Zeit exponiert. Man kann so nach der Entwicklung im allgemeinen schon mit einer einzigen Platte die richtige Expositionszeit ermitteln.

§ 332. Ist die Exposition beendet, so schiebt man wieder die zur Verdunkelung dienende Pappscheibe zwischen Mikroskop und Beleuchtungsapparat ein, schliesst sodann die Cassette und bringt dieselbe zur Entwicklung in die Dunkelkammer zurück.

e) Die Entwicklung des Negativs.

§ 333. Bevor wir zu der eigentlichen Entwicklung der Platte übergehen, sei zunächst bezüglich der Dunkelkammer hervorgehoben, dass dieselbe bei der grossen Empfindlichkeit der zur Zeit in Anwendung kommenden Platten auf das sorgfältigste daraufhin zu untersuchen ist, ob sie nicht etwa durch Spalten in den Fensterläden oder dergl. geringe Spuren von Licht erhält. Man kann dies am besten dann erkennen, wenn das Auge durch längeren Aufenthalt in der Dunkelheit empfindlicher gegen geringe Lichtmengen geworden ist.

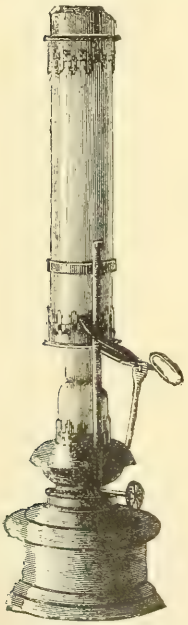


Fig. 140.

§ 334. Zur Beleuchtung des Dunkelzimmers benutzt man, soweit dies gestattet ist, eine Dunkelzimmerlampe, die mit einem Cylinder aus Rubinglas versehen ist, so dass sie nur rothe Strahlen aussendet. Sehr zweckmässig ist in dieser Beziehung übrigens die in Fig. 140 abgebildete Lampe, die mit einem äusseren rothen und einem inneren gelben Cylinder versehen ist. Will man nun das hellere gelbe Licht benutzen, so braucht man nur den in der Abbildung auf der rechten Seite befindlichen Griff zu drehen, wodurch der Rubinglascylinder, wie in der Abbildung dargestellt ist, gehoben wird.

§ 335. Die eigentliche Entwicklung richtet sich natürlich sehr nach der Beschaffenheit der angewandten Platten. Speciell für mikrophotographische Aufnahmen werden nun aber neuerdings ganz allgemein die farbenempfindlichen Eosin- und Erythrosinsilberplatten am

meisten empfohlen. Dieselben haben gegenüber den gewöhnlichen Bromsilber-Gelatine-Platten den Vorzug, dass sie ausser für die violetten und ultravioletten Strahlen, namentlich auch für gelbe und grüne Strahlen empfindlich sind. Man kann diese Platten z. B. von Perutz beziehen, kann sie aber auch aus gewöhnlichen Bromsilberplatten durch Baden in einer Erythrosinlösung herstellen. Man benutzt hierzu nach Neuhauss (I, 178) eine zuvor filtrierte Mischung von 5 cm^3 einer 0·2 proc. Erythrosinlösung in 95 proc. Alkohol und 200 cm^3 Wasser und lässt die Platten in dieser unter steter Bewegung der Schale 60—70 Secunden, dann werden sie in geeigneter Weise getrocknet, was natürlich, wie das Baden in der Farbstofflösung, in einem absolut dunkeln Raume geschehen muss. Die so dargestellten „Badeplatten" sollen sich gut aufbewahrt ca. 4 Wochen halten. Dahingegen besitzen die Perutz'schen Eosinsilberplatten eine viel grössere Haltbarkeit und sind auch wohl im allgemeinen den Badeplatten vorzuziehen.

§ 336. Zur Entwicklung bringt man die exponierte Platte in die Dunkelkammer und, in den ersten Minuten selbst vor dem rothen Licht der Dunkelkammerlampe geschützt, in die Entwicklungsflüssigkeit. Von den zahlreichen zu diesem Zwecke vorgeschlagenen Mitteln erwähne ich nur das Rodinal, das einerseits sehr gute Resultate liefert und andererseits in seiner Anwendung sehr bequem ist. Dasselbe enthält in erster Linie ein Alkalisalz des Paraamidophenols und ist vor dem Gebrauch mit der 25fachen Menge Wassers zu verdünnen. Uebrigens erhält man bei geringerer Verdünnung (1 : 10 bis 1 : 20) eine äusserst schnelle und contrastreiche Entwicklung, während bei grösserer Verdünnung (1 : 30 bis 1 : 40) langsame und weiche Entwicklung erfolgt. Bei Ueberexponierung setzt man zweckmässig dem Entwickler tropfenweise eine Lösung von 3 cm^3 Rodinal, 1 gr Bromkalium und 3 cm^3 Wasser hinzu. Die verdünnten Lösungen von Rodinal halten sich übrigens nur wenige Tage, während die concentrierte Lösung in gut verkorkter Flasche lange Zeit gebrauchsfähig bleibt.

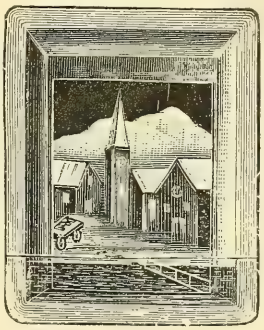


Fig. 141.

§ 337. Bezüglich der bei dieser Entwicklung zu benutzenden Gefässe sei erwähnt, dass man wohl am besten flache, rechteckige, der Plattengrösse entsprechende Schalen aus Glas, Porzellan, Hartgummi oder Celluloid anwendet. Zweckmässig sind wohl ferner auch die mit Sammelbassin versehenen gelben Entwicklungsschalen aus Celluloid. Werden dieselben in der in der Fig. 141 dargestellten Weise gehalten, so sammelt sich der Entwickler in dem am unteren Ende

befindlichen Bassin, während die Platte durch Capillarität festgehalten wird und somit, ohne aus der Schale herausgenommen zu werden, vor dem Licht beobachtet werden kann. Die Farbe der Schale wurde ferner so gewählt, dass die Platte in dieser Weise ohne Schaden selbst vor gelbes Licht gebracht werden kann.

Nachdem man nun die Platte innerhalb der Entwicklungsflüssigkeit ca. 2 Minuten selbst vor den rothen Lichtstrahlen geschützt hat, kann man sie der rothen Lampe nähern, um den Verlauf der Entwicklung von Zeit zu Zeit controlieren zu können. War die Platte richtig exponiert, so soll das Bild erst nach einiger Zeit erscheinen, und es ist dann auch die Entwicklung bis mindestens auf $^1/_4$ oder auch auf $^1/_2$ Stunde auszudehnen. Uebrigens ist es nothwendig, sich hier selbst einige Erfahrung zu verschaffen und lässt sich keine allgemeine Regel dafür geben, wann die Entwicklung am besten abgebrochen wird.

§ 338. Will man nun aber die Entwicklung abbrechen, so wäscht man die Platten zunächst sorgfältig mit Wasser ab und bringt sie sodann in das Fixierbad. Als solches wird für die Eosinsilberplatten speciell ein saures Fixierbad empfohlen, das aus 200 *gr* unterschwefligsaurem Natron, 50 *gr* doppeltschwefligsaurem Natron und 1000 cm^3 Wasser besteht. In diesem bleiben die Platten so lange, bis sie im durchfallenden Lichte vollkommen durchsichtig und im auffallenden nicht mehr weiss erscheinen.

§ 339. Nach der Fixierung werden die Platten dann sorgfältig gewaschen und erst, nachdem dies vollendet, dürfen sie ans Tageslicht gebracht werden. Zeigen sie dann noch eine röthliche Färbung, so kann diese dadurch entfernt werden, dass man die Platten einige Zeit in 96° Alkohol legt, der bis zum starken Geruch mit Ammoniak versetzt ist.

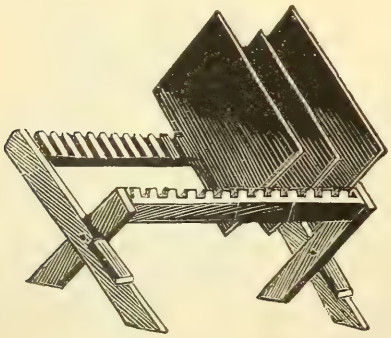


Fig. 142.

Hierauf werden dann die Platten, vor Staub geschützt, getrocknet, wobei man sich zweckmässig eines Gestelles, wie des in Fig. 142 abgebildeten, bedient.

§ 340. Ist nun aber eine Platte infolge unrichtiger Expositionsdauer oder auch zu langer oder zu kurzer Entwicklung zu dunkel oder zu hell ausgefallen, so kann man dieselbe noch nachträglich abschwächen oder verstärken.

Zur Verstärkung zu schwacher Platten kann man dieselben z. B. nach gutem Auswaschen des Fixiernatrons zunächst in eine 2 proc.

wässerige Sublimatlösung bringen; in dieser belässt man sie, bis sie eine vollständig weissliche Farbe zeigen. Dann werden sie gründlich gewaschen und darauf in eine mit 4 Theilen Wasser versetzte Ammoniaklösung übertragen, in der die Platten alsbald eine dunkle Farbe annehmen. Nach abermaligem gründlichen Waschen werden die Platten schliesslich getrocknet.

§ 341. Zur Abschwächung zu kräftiger Platten empfiehlt Neuhauss (I, 199) eine Lösung von 5 *gr* Kupfervitriol und 15 *gr* Kochsalz in 50 *gr* destilliertem Wasser. Diese Lösung wird vor dem Gebrauch mit 8—10 Theilen destilliertem Wasser verdünnt und die nach dem Fixieren gut ausgewaschene Platte in dieselbe hineingelegt. Nach kurzer Zeit wird diese dann unter dem Wasserleitungshahn abgespült und sodann in das Bad von unterschwefligsaurem Natron gebracht, in dem nun erst die Wirkung der Abschwächung zu Tage tritt. Ist dieselbe noch nicht ausreichend, so bringt man die Platte nach kurzem Abspülen

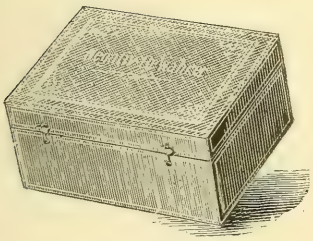


Fig. 143.

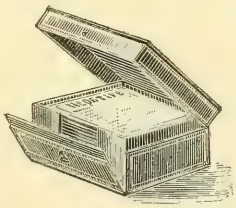


Fig. 144.

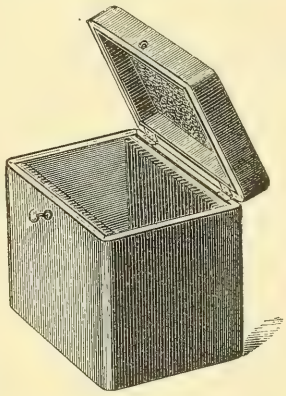


Fig. 145.

des Fixiernatrons in die Kupfervitriol-Kochsalzlösung zurück und wiederholt den Vorgang so lange, bis ein hinreichender Grad der Durchsichtigkeit erreicht ist, und zwar kann man das Negativ nach kurzem Abspülen unter dem Hahn, ohne längeres Auswässern, beliebig oft von der einen in die andere Schale bringen. Nach Beendigung der Abschwächung ist gründlich zu waschen.

§ 342. Um schliesslich die Platten nach der völligen Fixierung und Trocknung gegen Verletzungen zu schützen, kann man dieselben mit einer Lackschicht überziehen. Man benutzt hierzu eine der verschiedenen Arten von Negativlacken, die entweder direct oder nach vorheriger Erwärmung auf die gut abgestäubte Platte aufgetragen werden.

Zum Aufbewahren der Negativplatten wurden neuerdings von Schrötter (Leipzig) sehr geeignete Cartons unter der Bezeichnung „Negativbewahrer“ in den Handel gebracht. Dieselben sind zum Theil so eingerichtet, dass die Platten einfach aufeinander gelegt werden können (cf. Fig. 143 und 144), theils wie die gewöhnlichen Präparatencartons mit Zahnleisten versehen (cf. Fig. 145). In ersterem Falle ist es zweckmässig, die Negative mit einem geeigneten Stoffe zu umwickeln. Von Schrötter werden zu diesem Zwecke Umschläge aus glattem Tauenpapier angefertigt, die auf der Aussenseite mit einem Schema bedruckt sind, auf welchem alle auf die Anfertigung des betreffenden Negativs bezüglichen Daten eingetragen werden können.

f) Die Anfertigung der Positive.

§ 343. Von den verschiedenen zur Gewinnung der Positive angewandten Papieren dürfte wohl das sogenannte Kurz'sche Chlorsilber-Celloidin-Papier zu den am meisten geeigneten gehören, und es beziehen sich denn auch die folgenden Angaben speciell auf dieses Papier. Uebrigens erfordern ja auch die anderen Papiere eine im wesentlichen gleichartige Behandlung; meist ist denselben auch wohl eine Gebrauchsanweisung beigegeben, aus der über die passendste Zusammensetzung des Goldbades etc. das Nöthige zu entnehmen ist.

§ 344. Bei der Uebertragung des photographischen Bildes der Negativplatte auf das Positiv wird das Negativ mit der Bildseite nach unten auf das lichtempfindliche Papier gelegt und dann durch Belichtung bewirkt, dass die im Negativ hellen Theile auf dem Papier je nach der Dauer der Einwirkung mehr oder weniger dunkle Töne erhalten. Wichtig ist hierbei natürlich, dass das Papier mit der Platte in allen Theilen in möglichst inniger Berührung steht. Es wird dies bewirkt durch die sogenannten Copierrahmen (Fig. 146) oder Copierbretter (Fig. 147).

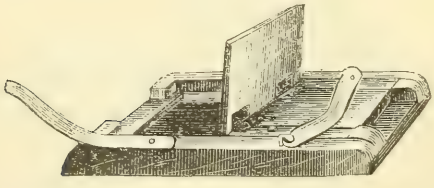


Fig. 146.

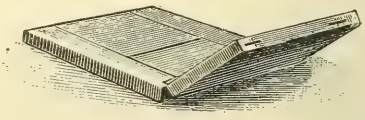


Fig. 147.

Bei den ersteren wird die Platte, wenn sie nicht gerade die Grösse des Copierrahmens besitzt, auf eine starke Spiegelglasplatte gelegt und nachdem das photographische Papier und der in der Mitte mit einem Charnier versehene Deckel darauf gebracht ist, dieser mit Hilfe der

federnden Leisten, von denen in der Fig. 146 die eine zurückgeschlagen ist. an die Platte angedrückt. Besitzt übrigens der Deckel nicht bereits auf der Innenseite eine starke Filzlage oder dergl., so ist durch Einlegen einer mehrfachen Schicht von Fliesspapier für möglichst innigen Contact zu sorgen. Durch das an dem Deckel befindliche Charnier wird aber ermöglicht, dass man den Deckel zur Hälfte abheben und so das auf dem Papier entstandene Bild in jedem beliebigen Momente beobachten kann, ohne dass sich das Papier auf der Platte verschiebt. Das Gleiche gilt im wesentlichen von den Copierbrettchen, die mit Hilfe geeigneter Klammern dem Negativ angedrückt werden.

Beim Einlegen des Positivpapieres ist zu beachten, dass dasselbe eine relativ grosse Lichtempfindlichkeit besitzt, und es ist dasselbe deshalb auch wenigstens möglichst schnell und bei gedämpftem Tageslicht auszuführen.

§ 345. Die Dauer der Belichtung richtet sich natürlich ganz nach der Dunkelheit der Platte und nach der Intensität der Beleuchtung, lässt sich aber in jedem Falle leicht ermitteln, da es ja, wie bereits bemerkt wurde, möglich ist, in jedem Momente die Intensität des Bildes zu controlieren. Zu bemerken ist jedoch in dieser Beziehung, dass speciell bei dem Chlorsilber-Celloidinpapier das Bild bedeutend dunkler copiert werden muss, als es schliesslich sein soll, da später im Tonfixierbade ein beträchtliches Abblassen des Bildes eintritt.

§ 346. Hat nun das Bild den gewünschten Farbenton erhalten, so kommt es entweder direct oder ohne Schaden auch erst nach vorheriger Aufbewahrung im Dunkeln in das Tonfixierbad. Dasselbe wird bereitet, indem man in 1 Liter destilliertem Wasser 250 *gr* unterschwefligsaures Natron, 27·5 *gr* Rhodanammonium, 7·5 *gr* pulver. Alaun, 7·5 *gr* Citronensäure, 10 *gr* essigsaures Blei und 10 *gr* salpetersaures Blei auflöst und dann 75 *gr* einer 0·5 proc. Chlorgold- oder einer 1-proc. Chlorgoldkaliumlösung zusetzt. Dies Gemisch bildet anfangs eine milchartige trübe Flüssigkeit, klärt sich aber nach 4—5 Tagen und ist dann zum Gebrauch fertig und lange haltbar. Es wird am besten in einer offenen Flasche aufbewahrt.

In diesem Goldfixierbad, dessen Temperatur am besten zwischen 15—18° C. zu halten ist, bleiben nun die Bilder, bis sie den gewünschten Farbenton erhalten haben, im allgemeinen ca. 10 Minuten. Es ist hierbei durch wiederholtes Bewegen der Flüssigkeit dafür zu sorgen, dass sie allseitig gleichmässig benetzt werden.

Nach Vollendung der gleichzeitigen Vergoldung und Fixierung werden die Bilder dann unter mehrmaligem Wasserwechsel gut ausgewaschen und schliesslich getrocknet. Um die Photographien gleichzeitig glänzend zu machen, wodurch übrigens auch bewirkt wird, dass häufig

feine Details sehr viel schärfer hervortreten, kann man das Trocknen in der Weise ausführen, dass man die Copien auf einer zuvor sorgfältig gereinigten, am besten mit Talkum abgeriebenen Glas- oder Hartgummiplatte antrocknen lässt. Die Copie wird zu diesem Zwecke unter Wasser mit der Bildseite auf die Platte gelegt, wobei jedoch darauf zu achten ist, dass sich keine Luftblasen zwischen Copie und Platte festsetzen. Eventuell sind dieselben nach dem Herausnehmen der Platte durch vorsichtiges Streichen mit der Hand oder einem Kautschukquetscher zu entfernen. Die Platte wird dann an einem luftigen, aber nicht allzu warmen Orte zum Trocknen aufgestellt; nachdem dies geschehen, lassen sich die Copien leicht von der Platte entfernen, vorausgesetzt, dass man eine stärkere Erwärmung vermieden hat.

Um aufgeklebten Photographien Hochglanz zu verleihen, benutzt man eine Satiniermaschine, vorausgesetzt, dass man es nicht vorzieht, dies von einem Photographen besorgen zu lassen.

IV. Das mikroskopische Präparat.

I. Apparate und Utensilien von allgemeiner Anwendung.

§ 347. Von den zahlreichen zur Herstellung der mikroskopischen Präparate nothwendigen Apparaten und Utensilien sollen in diesem Abschnitte nur diejenigen, die bei den verschiedenartigsten Präparationsmethoden zur Anwendung kommen, besprochen werden; die zu ganz bestimmten Zwecken dienenden Instrumente etc. sollen dagegen in den einzelnen Abtheilungen der nächsten Abschnitte im Zusammenhang mit den betreffenden Präparationsmethoden zur Besprechung gelangen. Unerwähnt lasse ich übrigens alle diejenigen Utensilien, wie Nadeln, Pinsel etc., deren Anwendung und zweckmässige Auswahl mir einer speciellen Erläuterung nicht zu bedürfen scheint.

a) Objectträger und Deckgläschen.

§ 348. Nur ganz ausnahmsweise besitzen die zur mikroskopischen Beobachtung gelangenden Objecte eine solche Ausdehnung, dass sie direct auf den Objecttisch gebracht werden können. In den allermeisten Fällen dient vielmehr eine entsprechend zugeschnittene Glasplatte, der „Objectträger", als Unterlage für das zu beobachtende Object, das durch Bedeckung mit einer dünnen Glasplatte, dem „Deckgläschen", auch nach oben hin abgeschlossen wird. Unbedingt nothwendig ist diese Bedeckung bei starken Vergrösserungen, bei denen die Frontlinse sonst sehr leicht in die Beobachtungsflüssigkeit tauchen würde. Vorsicht ist ferner geboten, wenn dem Objecte Reagentien zugesetzt werden sollen, die die Linsen oder die Fassung derselben angreifen würden. In diesem Falle ist namentlich auch die Benutzung besonders grosser Deckgläschen anzuempfehlen.

§ 349. Die zur Zeit in den Handel gebrachten verschiedenen Arten von Objectträgern unterscheiden sich nun namentlich durch das Format und die Qualität des benutzten Glases. Für die Wahl des ersteren wird natürlich die Natur der zu untersuchenden Objecte den

Ausschlag geben müssen. So wird man z. B., wenn es sich um grosse Schnittserien handelt, zweckmässig auch ein grosses Format von Objectträgern benutzen, auf denen sich bequem eine grosse Zahl von Schnitten unterbringen lässt. Handelt es sich dagegen in erster Linie um Untersuchungen in polarisiertem Lichte, bei denen ein Drehen der Objecte nothwendig ist, so wird man umgekehrt, wenn man nicht über ein Mikroskop mit entsprechend grossem Objecttisch verfügt, besser thun, kleinere Objectträger zu verwenden. Bei Dauerpräparaten ist schliesslich eine gewisse Grösse der Objectträger schon deshalb erforderlich, damit neben dem Deckgläschen noch genügender Raum für die zur genauen Bezeichnung dienenden Etiquetten übrig bleibt. Jedenfalls ist es aber bei diesen mit Rücksicht auf die Unterbringung in Präparatencartons oder dergl. und etwaigen Austausch dringend anzuempfehlen, sich eines der zur Zeit eingebürgerten Formate zu bedienen. Von diesen scheinen mir nun die folgenden, deren in *mm* ausgedrückte Dimensionen im beistehenden angegeben sind, zur Zeit die am meisten verbreiteten zu sein:

	Länge	Breite
Grosses englisches Format . .	76	40
Kleines „ „ . .	76	26
Anatomisches Format (Leipzig) .	70	35
Giessener (Vereins-) Format .	48	28

Unter diesen 4 Formaten dürfte sich wohl für jeden speciellen Zweck ein geeignetes finden.

§ 350. Hinsichtlich der Glasqualität der Objectträger wird von verschiedenen Autoren darauf grosser Wert gelegt, dass dasselbe vollkommen weiss ist; übrigens dürfte bei der ja immerhin nur relativ geringen Dicke der Objectträger die Verwendung grünlichen Glases nur in ganz besonderen Fällen mit irgendwie merklichen Nachtheilen verknüpft sein: Verfasser hat sich wenigstens bisher in keinem einzigen Falle von dem Vorhandensein einer nachtheiligen Wirkung des grünlichen Glases überzeugen können. Ebenso scheint mir auch die Anwendung von Spiegelglas höchstens dann von einigem Vortheil zu sein, wenn man ganz besonders grosse Flächen, etwa grosse Schnittserien mit einem entsprechenden Deckgläschen bedecken will. Anzurathen ist dagegen für längeren Gebrauch die Verwendung von Objectträgern mit abgeschliffenen Kanten, deren Preis ja zur Zeit nur relativ wenig höher ist, wie derjenige der gewöhnlichen Objectträger.

§ 351. Das Format der Deckgläschen richtet sich natürlich nach der Grösse der zu beobachtenden Objecte; im allgemeinen wird jedoch namentlich der Anfänger unter ein gewisses Minimum (etwa 18 *mm*) zweckmässig nicht herabgehen, da sonst durch Uebertreten der Beobachtungsflüssigkeit sehr leicht eine Benetzung der Objective eintritt.

Uebrigens dürften die namentlich früher mit Vorliebe benutzten runden Deckgläschen gegenüber den bedeutend billigeren quadratischen nur ausnahmsweise gewisse Vortheile bieten. Die Dicke der Deckgläschen wählt man, wenn das betreffende Objectiv dies gestattet, zweckmässig zu c. 0·12—0·15 *mm*.

§ 352. Um die Fläche der Deckgläschen beim Auflegen auf das Präparat nicht zu beschmutzen, darf man dieselben stets nur am Rande, nicht aber an den Flächen anfassen. Es sind deshalb auch zum Aufbewahren der Deckgläschen solche Kästen anzuempfehlen, in denen dieselben aufrecht hingestellt werden können, wie dies z. B. bei dem in Fig. 148 abgebildeten Kästchen, in dem zwischen den 5 verschiedenen Zahnleisten Deckgläschen von ebenso vielen verschiedenen Formaten aufgestellt werden können, der Fall ist. Derartige Kästchen können von Schrödter (Leipzig) bezogen werden.

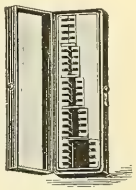


Fig 148.

§ 353. Zum Reinigen der mit Immersionsöl oder Canadabalsam verunreinigten Objectträger und Deckgläser benutze ich ein beliebig zusammengesetztes Gemisch von unreinem Xylol und Alkohol, das ich mir aus den zum Entwässern, Einbetten etc. benutzten Flüssigkeiten ansammele. Ist der Canadabalsam bereits vollständig erstarrt, so empfiehlt es sich, das Präparat einige oder 24 Stunden lang in diesem Gemisch liegen zu lassen.

b) Flaschen und Schalen.

§ 354. Reagentien, Farbstoffe etc., von denen man gewöhnlich nur einen oder wenige Tropfen den mikroskopischen Präparaten zuzusetzen hat, füllt man zweckmässig in Gläser von der in Fig. 149 abgebildeten Form. Bei denselben läuft der Glasstopfen direct in einen zur Uebertragung der Flüssigkeit dienenden Glasstab aus.

Für Alkohol, Xylol und andere Stoffe, von denen man häufig grössere Mengen in Anwendung bringen muss, benutzt man dagegen vortheilhafter ein sogenanntes Pipettenglas (Fig. 150) oder ein Tropfglas (Fig. 151), während die Benutzung von Spritzflaschen wohl höchstens für destilliertes Wasser anzurathen sein dürfte. Uebrigens kann man auch für dieses beim Mikroskopieren zweckmässig ein Pipettenglas verwenden.

Bei den Pipettengläsern dient, wie wohl aus Fig. 150 unmittelbar ersichtlich ist, zum Verschluss der Flasche an Stelle des Pfropfens eine kleine Pipette, die am oberen Ende durch eine Kautschukkappe verschlossen ist. Durch verschieden starkes Drücken auf diese Kautschukkappe kann man natürlich die Menge der ausfliessenden Flüssigkeit ganz genau regulieren.

§ 355. Das Princip der in Fig. 151 abgebildeten Tropfflasche beruht darauf, dass bei einer gewissen Stellung des Stopfens durch zwei einander gegenüberstehende Erweiterungen (cf. c. 151) im Flaschenhalse

Fig. 149.

Fig. 150.

Fig. 151.

und entsprechende Vertiefungen im Stopfen (b) eine Communication hergestellt wird, die einerseits zum Ausfluss der Flüssigkeit und andererseits zur Zufuhr von Luft in das Innere des Glases dient. Wird der Stopfen dagegen um 90° gedreht, so wird das Glas vollständig abgeschlossen.

Die aus der Tropfflasche austretende Flüssigkeit läuft nun an dem rechtwinklig gebogenen Fortsatze (a), der, wie die Figur zeigt, an seiner Unterseite eine Einsenkung besitzt, herab und kann so leicht auf jeden beliebigen Punkt des Präparates dirigiert werden. Eine Verlangsamung des Ausflusses lässt sich ferner dadurch erreichen, dass man den Stopfen so dreht, dass die Oeffnungen in diesem und dem Flaschenhalse einander nicht vollständig entsprechen, oder dass man das Glas weniger nach abwärts neigt. Für Alkohol, Säuren und andere Flüssigkeiten, die den Kautschuk der Pipettengläser angreifen, verdienen denn auch die Tropfgläser entschieden den Vorzug vor jenen.

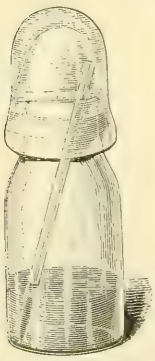


Fig. 152.

§ 356. Für Flüssigkeiten, die, wie z. B. Canadabalsam oder Dammarlack, sehr leicht ein Ankleben des Stopfens bewirken, benutzt man zweckmässig Flaschen von der in Fig. 152 abgebildeten Form. Dieselben werden durch einen über die Mündung des Glases übergreifenden hohlen Stopfen, in den das obere Ende des im Glase sichtbaren Glasstäbchens hineinragt, verschlossen.

§ 357. Von den zu verschiedenen Zwecken dienenden flachen Glasschalen scheint mir, wenn dieselben einigermaassen dicht ver-

schlossen werden sollen, die in Fig. 153 abgebildete Form am meisten empfehlenswert. Bei denselben besitzt der Deckel eine dem Rand der Schale entsprechende Vertiefung. Kommt es dagegen nicht auf einen einigermaassen dichten Verschluss an, so dürften die gewöhnlichen Vogelnäpfchen den vielfach benutzten Uhrgläschen infolge ihres geringeren Preises und ihrer grösseren Dauerhaftigkeit im allgemeinen vorzuziehen sein.

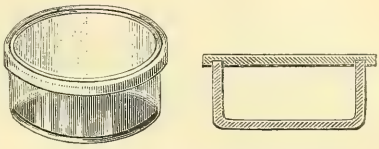


Fig. 153.

c) Pincetten und Spatel.

§ 358. Die zum Erfassen mikroskopischer Objecte bestimmten Pincetten sind am besten an der Innenseite der Arme glatt abgeschliffen, da bei gerieften Pincetten die Objecte viel leichter zerdrückt werden und ausserdem eine Reinigung viel weniger leicht auszuführen ist.

Eine speciell zum Halten von Deckgläschen sehr geeignete Form von Pincetten, die von Walb (Heidelberg) zu beziehen sind, ist in Fig. 154 dargestellt.

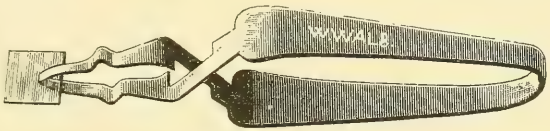


Fig. 154.

Fig. 155.

Fig. 156.

Metallspatel werden namentlich dazu benutzt, um zarte Schnitte aus einer Flüssigkeit in eine andere oder auf den Objectträger zu übertragen; sie werden deshalb auch wohl als „Schnittfänger“ bezeichnet. Von den verschiedenen Formen, welche man diesem Instrument gegeben hat, dürften nun wohl für viele Fälle die in Fig. 155 und 156 mit am zweckmässigsten sein. Die von Born vorgeschlagene Form (Fig. 156) ist dadurch ausgezeichnet, dass die Fläche des Spatels von zahlreichen kleinen Löchern durchsetzt ist, so dass die Flüssigkeit von der ganzen Fläche schnell ablaufen kann.

2. Die Beobachtung lebender Objecte.

a) Die Beobachtung unter normalen Bedingungen.

§ 359. Um lebende Organismen direct unter dem Mikroskop beobachten zu können, hat man vor allem dafür zu sorgen, dass diese sich während der Beobachtung unter Bedingungen befinden, die mit denen möglichst übereinstimmen, unter welchen sie sich während ihrer natürlichen Entwicklung befinden.

Mikroorganismen, die normal in Flüssigkeiten leben, wird man also auch in einem Tropfen der betreffenden Culturflüssigkeit zur Beobachtung gelangen lassen. Will man während dieser Zeit fremdartige Organismen fernhalten, so muss man natürlich alle Theile des Präparates möglichst vollständig sterilisieren und auch einen nachherigen Zutritt von anderen Organismen fernzuhalten suchen. Unter Umständen kann man auch dadurch, dass man zu der Beobachtungsflüssigkeit gewisse Stoffe zusetzt, die Entwicklung verschiedener Mikroorganismen verhindern. So wird z. B. zur Fernhaltung von Bacterien und anderen Pilzen ein Zusatz von 0·05 Proc. neutralem oder doppelt chromsauren Kalium empfohlen, der den Algen und auch Schnitten von höheren Gewächsen keinen nachweisbaren Schaden zufügt.

§ 360. Will man nun aber ferner Schnitte von grösseren Organismen möglichst im lebenden Zustande beobachten, so ist zu beachten, dass sowohl thierische als auch pflanzliche Zellen bei der Uebertragung in reines Wasser sehr schnell abzusterben pflegen.

Im allgemeinen sind allerdings die pflanzlichen Zellgewebe in dieser Beziehung widerstandsfähiger als die thierischen, und man kann hier auch sehr verschiedene neutrale Flüssigkeiten, wie z. B. 2—5 proc. Lösungen von Kalisalpeter, Rohrzucker, Eiweiss oder Gummi arabicum als Beobachtungsflüssigkeiten verwenden, auch Oel wurde mehrfach mit gutem Erfolg benutzt.

Sind die Präparate sehr lufthaltig, so kann man diese durch Evacuierung mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe entfernen. Man bringt die betreffenden Objecte hierbei zweckmässig in kleine Krystallisierschalen oder Vogelnäpfchen und klemmt sie eventuell noch durch aufgelegte Fliesspapierstreifen oder auch durch einen mit der Spitze aus der Flüssigkeit herausragenden kleinen Trichter derartig am Boden des Gefässes fest, dass sie auch während des Auspumpens völlig untergetaucht bleiben und somit beim nachherigen Luftzutritt völlig mit der betreffenden Flüssigkeit injiciert werden.

§ 361. Als Beobachtungsflüssigkeit für die im allgemeinen viel empfindlicheren thierischen Objecte wurde nun ebenfalls eine grosse

Anzahl von verschiedenen Lösungen angewandt. Ich erwähne von diesen die folgenden:

1. Die sogenannte physiologische Kochsalzlösung stellt eine 0·5 bis 0·75 proc. wässerige Lösung von Chlornatrium dar.

2. Das von M. Schultze (II) empfohlene Jodserum wird gewonnen, indem man das aus dem frischen Uterus einer schwangeren Kuh oder eines Schafes gewonnene Amnionwasser mit soviel Jodtinctur versetzt, dass die Flüssigkeit die Färbung eines dunklen Weissweines besitzt. Ist dieselbe beim längeren Stehen wieder heller geworden, so wird wieder von neuem Jodtinctur zugesetzt, und es lässt sich so eine Zersetzung des Amnionwassers lange Zeit verhindern.

3. Blutserum wird zweckmässig von dem gleichen Thiere entnommen.

4. Humor aqueus, die in der vordern Augenkammer enthaltene Flüssigkeit, kann durch Aufschneiden der Hornhaut erhalten werden.

§ 362. Handelt es sich nun aber nicht um sehr kleine Objecte, so wird durch den bei der gewöhnlichen Präparationsweise eintretenden Druck des Deckglases häufig eine Verletzung der betreffenden Objecte bewirkt. Man kann dies nun einerseits dadurch verhindern, dass man das Deckglas auf entsprechend dicken Papierstreifen, Glasfäden oder dergl. ruhen lässt, andererseits kann man aber auch die Ecken des Deckgläschens mit kleinen „Wachsfüsschen“ versehen, die man zweckmässig aus einem zusammengeschmolzenen Gemisch von Wachs und $^1/_2$ oder $^1/_3$ soviel venetianischem Terpentin darstellt. Diese Masse haftet sehr fest an Glas und besitzt ausserdem eine ausreichende Plasticität.

§ 363. Ein weiterer Uebelstand der gewöhnlichen Präparation besteht darin, dass durch die Bedeckung mit einem Deckglas der für die meisten Organismen nothwendige Sauerstoffzutritt allzusehr gehindert wird. Man hat deshalb entweder die Beobachtungsflüssigkeit mit einer grösseren Luftmenge in Berührung gebracht oder auch Apparate construiert, durch die ein continuierlicher Ersatz der Beobachtungsflüssigkeit bewirkt wird.

Die zu dem ersten Zwecke dienenden Apparate werden gewöhnlich als feuchte Kammern bezeichnet und haben von den verschiedenen Autoren, die übrigens zum Theil gleichzeitig darauf bedacht waren, während der Cultur fremdartige Organismen fernzuhalten, eine sehr verschiedenartige Form erhalten.

§ 364. Ich erwähne von diesen Apparaten in erster Linie eine feuchte Kammer, die namentlich bei mykologischen Untersuchungen vielfach benutzt wurde. Dieselbe besteht im wesentlichen aus einem in der Form

der Fig. 157, I zugeschnittenen Papprahmen, der vor den Gebrauch zur Sterilisierung und Durchtränkung in kochendes Wasser getaucht und dann auf den Objectträger (a, Fig. 157, II) gebracht wird. Auf den Papprahmen legt man dann das Deckgläschen (c), an dessen Unterseite sich „im hängenden Tropfen“ (d) die zu beobachtenden Mikroorganismen befinden. Um ein Austrocknen zu verhindern, ist der Papprahmen von Zeit zu Zeit zu befeuchten.

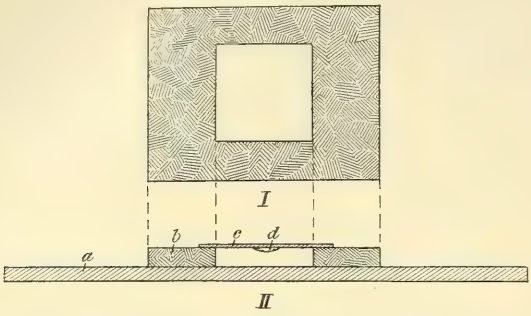


Fig. 157.

§ 365. In der gleichen Weise functioniert ferner auch die in Fig. 158 im Längsschnitt, in Fig. 159 in der Profilansicht dargestellte feuchte Kammer, bei der der Papprahmen der soeben besprochenen Kammer durch einen dem Objectträger mit Canadabalsam aufgekitteten

Fig. 158.

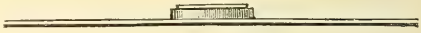


Fig. 159.

Glasring ersetzt ist. Bei der in Fig. 160 abgebildeten Kammer liegt das Deckglas dagegen direct über einer linsenförmigen Vertiefung des Objectträgers. Um bei diesen Kammern ein Verdunsten des Beobachtungstropfens zu verhindern und gleichzeitig ein Anhaften des Deckgläschens an dem Objectträger zu bewirken, umrandet man das Deckgläschen zweckmässig mit Vaselin, Wachs oder dergl.

Dasselbe gilt auch von der von F. E. Schultze empfohlenen feuchten Kammer, die in Fig. 161 abgebildet ist. In die bei dieser auf

Fig. 160.

Fig. 161.

dem Objectträger befindliche ringförmige Einsenkung soll algenhaltiges Wasser gebracht werden, so dass den im hängenden Tropfen befindlichen Mikroorganismen durch die Assimilation dieser Algen Sauerstoff zugeführt wird.

§ 366. Vielfach benutzt werden schliesslich auch die feuchten Kammern von Brefeld (I, 17) und Klebs (I, 43) (Fig. 162 und 163),

die sich in ihrer Construction an die früher von Recklinghausen empfohlene Kammer anschliessen. Brefeld verwendet diese Kammer in der Weise, dass er durch dieselbe nach sorgfältiger Reinigung durch

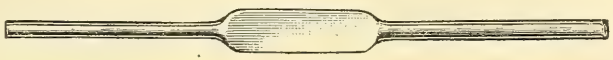


Fig. 162.

Fig. 163.

successive Behandlung mit Salzsäure, Aether und ausgekochtem destillierten Wasser die mit den zu untersuchenden Mikroorganismen versetzte Nährlösung hindurchsaugt. Nach dem Abfliessen der Flüssigkeit bleibt dann an den Wänden der Kammer ein gleichmässiger feiner Ueberzug von Flüssigkeit zurück, in dem die Entwicklung der Mikroorganismen tagelang ohne Störung stattfindet. Da die betreffende Fläche sehr dünn und eben ist, ist auch die Beobachtung mit starken Objectiven möglich.

§ 367. Einen fortwährenden Ersatz des bei der Athmung verbrauchten Sauerstoffes kann man ferner auch dadurch erreichen, dass man durch das betreffende Präparat einen continuierlichen Strom von der Beobachtungsflüssigkeit hindurchleitet. Mit dieser continuierlichen Erneuerung der Einschlussflüssigkeit sind jedoch natürlich auch noch weitere Vortheile für die in Cultur befindlichen Organismen verbunden; so findet unter anderen ein stetiger Ersatz etwa verbrauchter Nährstoffe statt. Ferner lässt sich in dieser Weise natürlich auch durch Zuleitung einer anderen Flüssigkeit leicht ein Wechsel der Beobachtungsflüssigkeit bewirken.

Von den zu einer derartigen continuierlichen Erneuerung der Culturflüssigkeit angewandten Methoden will ich nun an dieser Stelle nur die von Scherffel (I) verbesserte Methode von J. af Klercker (I) kurz beschreiben. Bei derselben werden in der aus Fig. 164 ersichtlichen Weise die beiden ca. 0·15 *mm* dicken Glasleisten L, L mit Canadabalsam auf einem Objectträger festgeklebt. In die zwischen diese beiden Glasstreifen befindliche Rinne bringt man sodann die zu cultivierenden Organismen und bedeckt sie mit Deckglas, das man durch zwei zuvor auf die Leisten (L) gebrachte Tropfen von Terpentinharz anklebt. Der Zufluss der Culturflüssigkeit geschieht sodann vermittels des auf der rechten Seite sichtbaren Leinwandstreifens, der sich, abgesehen von dem unteren Theile innerhalb eines heberartig gebogenen Glasrohres befindet und mit

seinem oberen Ende in ein vor Staub geschütztes Becherglas eintaucht. Das untere Ende dieses Leinwandstreifens ruht auf dem kleinen Leinwandstreifen Z_2, der mit dem einen Ende etwas unter das Deckglas oder wenigstens bis dicht an dieses herangeschoben wird. Zum Abfluss dient ebenfalls ein Leinwandstreifen, der mit seinem einen Ende dem Leinwand-

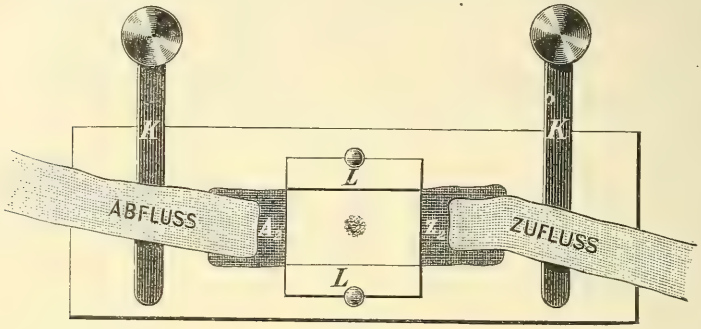


Fig. 164.

streifen A_2 aufliegt, mit dem anderen in ein niedriger stehendes Becherglas eintaucht. Die Stromgeschwindigkeit lässt sich bei dieser Methode namentlich durch Aenderung des Wasserspiegels in dem die zuströmende Flüssigkeit enthaltenden Becherglase variieren.

§ 368. Für die Beobachtung grösserer im Wasser lebender Organismen ist das Schulze'sche Horizontalmikroskop (cf. § 157) sehr geeignet. Vor dasselbe wird zu diesem Zwecke ein auf einem besonderen Stative befindliches Aquarium angebracht. Dasselbe wird gebildet von einer auf der Vorder- und Rückseite von Deckglasplatten gebildeten Cuvette, die von einem geeigneten Metallrahmen umgeben ist. An diesem befindet sich eine nach allen Richtungen bewegliche Blendungsöffnung, durch die das von dem ebenfalls auf einem besonderen Stative ruhenden Spiegel gelieferte Licht entsprechend abgeblendet werden kann.

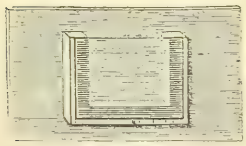


Fig. 165.

§ 369. Der gleiche Zweck lässt sich nun übrigens auch mit jedem beliebigen zum Umlegen eingerichteten Mikroskope unter Anwendung des von Cori (I) empfohlenen Objecttischaquariums erreichen. Dasselbe besteht, wie Fig. 165 zeigt, aus einem gewöhnlichen Objectträger, an dem zunächst ein U-förmig gebogener Glasstreifen und auf dieses ein Deckgläschen vom Formate 30 : 40 *mm* festgekittet ist.

Bei der Beobachtung wird nun dieses Aquarium mit den Federklammern auf dem Objecttisch des horizontal gestellten Mikroskops be-

festigt. Natürlich ist in diesem Falle nur eine Beobachtung von der dem Deckgläschen zugekehrten Seite aus möglich. Um nun aber auch eine Umkehrung des Objectaquariums möglich zu machen, liess Cori dasselbe später so ausführen, dass es auf beiden Seiten von einem Deckgläschen abgeschlossen wird und mit Hilfe eines besonderen metallenen Trägers an dem Objecttisch befestigt wird.

Natürlich ist es bei diesem Apparate vielfach zweckmässig, den Objecten frische durchlüftete Flüssigkeit zuzuführen, was z. B. durch einen in ein höher stehendes Becherglas eintauchenden Leinwandstreifen, Wollfaden oder dergl. geschehen kann. Ferner lassen sich in dieser Weise natürlich auch sehr leicht Farbstoffe, Reagentien etc. zuleiten.

b) Die Beobachtung unter Aenderung der Zusammensetzung oder des Druckes der umgebenden Luft (Gaskammern).

§ 370. Will man bei irgendwelchen Mikroorganismen oder Schnitten von höheren Pflanzen oder Thieren während der Beobachtung den Druck der umgebenden Luft ändern oder auch ein Gas oder Gasgemenge von einer von der atmosphärischen Luft abweichenden Zusammensetzung zu leiten, so geschieht dies mit Hilfe einer sogenannten Gaskammer.

In vielen Fällen können nun zu diesem Zwecke die bereits § 366 besprochenen feuchten Kammern von Brefeld und Klebs benutzt werden. Ausserdem erwähne ich zunächst noch die in Fig. 166 ab-

Fig. 166.

gebildete Gaskammer von Fritsch, bei der der auf dem Objectträger befindliche Aufsatz zwei zur Zuleitung und Ableitung der Gase dienende Röhren trägt. Die zu beobachtenden Objecte werden dagegen, am Deckglas hängend, auf die zwischen den beiden Röhren sichtbare oben gerade abgeschliffene Erhöhung gebracht.

§ 371. Sehr zweckmässig und viel benutzt ist ferner auch die von Engelmann (VI, 331) vorgeschlagene Gaskammer, die in Fig. 167

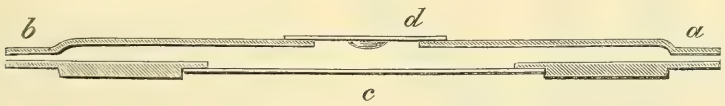


Fig. 167.

in der Form, in der sie zur Zeit von Albrecht (Tübingen) in den Handel gebracht wird, im Längsschnitt dargestellt ist. Sie besteht in der Haupt-

sache aus einem Metallkasten, der auf jeder Seite ein in der Zeichnung verkürzt dargestelltes Gasleitungsrohr (a und b) besitzt. Der die Unterseite des Kastens bildenden Platte ist ferner in einer entsprechenden Oeffnung eine Glasplatte (c) luftdicht eingekittet, so dass das Licht durch den Apparat hindurchtreten kann. Auf den kreisförmigen Ausschnitt auf der oberen Platte des Apparates wird schliesslich eine dünne Glasplatte oder ein Deckgläschen (d) gebracht, das im hängenden Tropfen die zu untersuchenden Organismen trägt. Zum Aufkleben dieses Plättchens kann man Fett, Vaselin, oder wenn es sich um Versuche mit erhöhtem Druck handelt, ein Gemisch von Wachs und Colophonium benutzen.

c) Die Mittel zur Regulierung der Temperatur der mikroskopischen Objecte (heizbarer Objecttisch).

§ 372. Bei der Untersuchung der lebenden Organismen und deren Theile ist es vielfach nothwendig, das Präparat bei einer von der Umgebung abweichenden Temperatur beobachten zu können, und es wurde denn auch namentlich in den letzten Jahren eine grosse Anzahl von verschiedenen Apparaten construiert, die einerseits einen beliebigen Wechsel der Temperatur ermöglichen und andererseits gestatten, die Präparate auf der betreffenden Temperatur zu erhalten. Von diesen verschiedenen Apparaten wird man nun natürlich je nach dem speciellen Zweck der Untersuchung bald dem einen, bald dem anderen den Vorzug geben. Handelt es sich jedoch weniger um genaue Temperaturbestimmungen, so dürften wohl die Apparate von M. Schultze, Löwit, Pfeiffer und Israel am meisten zu empfehlen sein, während bei subtileren Untersuchungen der Wärmkasten von Sachs und die von Pfeffer vorgeschlagene Vorrichtung den Vorzug verdienen dürften. Bevor ich nun aber zur Besprechung dieser 6 Methoden übergehe, will ich noch erwähnen, dass auch von Babes (I, 23) und Flesch (I) heizbare Objecttische construiert wurden.

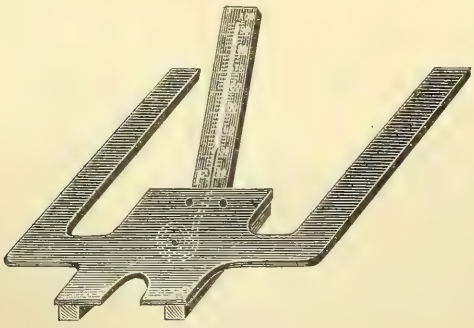


Fig. 168.

§ 373. 1. Der heizbare Objecttisch von M. Schultze (I). Derselbe besteht, wie Fig. 168 zeigt, aus einer auf zwei Holzleisten ruhenden Metallplatte, die an jeder Seite einen rechtwinklig gebogenen Arm trägt, während sich unter der Mitte der Platte ein Thermo-

meter (F) befindet, dessen Quecksilberbehälter um die Blendungsöffnung zwei vollständige Spiralwindungen beschreibt und mit abgeplatteter Fläche der Unterseite der Metallplatte unmittelbar anliegt. Diese wird nun zum Gebrauch auf dem Objecttisch des Mikroskops befestigt und dadurch, dass unter die freien Enden der beiden Arme eine kleine Flamme gebracht wird, erwärmt. Ausserdem kann das Präparat durch einen dem Objectträger aufgesetzten, den unteren Theil des Tubus umfassenden Glascylinder vor Luftströmungen geschützt werden.

2. § 374. Der nach Angaben von M. Löwit (I) von C. Reichert in Wien angefertigte heizbare Objecttisch (Fig. 169) wird mit

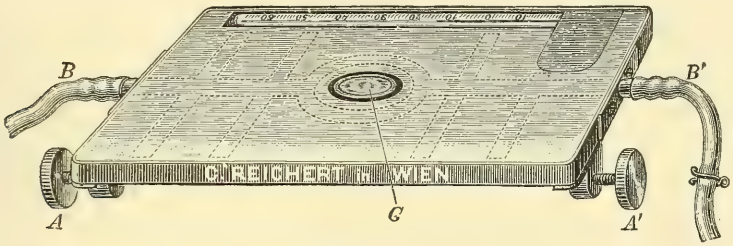


Fig. 169.

Hilfe der Schrauben A und A' auf dem Objecttisch des Mikroskops festgeschroben, und es wird dann das zu erwärmende Präparat einfach daraufgebracht.

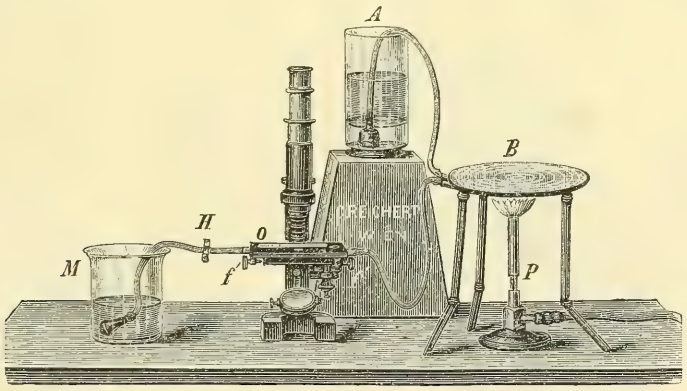


Fig. 170.

Zur Beobachtung kann die bei C befindliche starke Condensorlinse dienen, die den Abbe'schen Condensor wenigstens einigermaassen zu ersetzen vermag. Uebrigens kann man dieselbe auch mit Hilfe eines beigegebenen Schlüssels leicht entfernen. Die Wärmezufuhr geschieht durch angewärmtes Wasser, das man mit Hilfe der beiden Oeffnungen B und B' den Apparat durchströmen lässt. Zur Anwärmung des Wassers kann man speciell die in Fig. 170 dargestellte Erwärmungsvorrichtung

benutzen; bei derselben strömt das aus dem beliebig grossen Wassergefäss A stammende Wasser durch das spiralige Gefäss B, das durch den mit einem Gasdruckregulator versehenen Brenner P erwärmt wird. Aus diesem Gefäss tritt es dann in den heizbaren Objecttisch (O); die Geschwindigkeit des Ausflusses aus diesem in das Sammelgefäss M wird durch die Klemmschraube H reguliert.

§ 375. 3. Der auf Vorschlag von Pfeiffer (I) von Leybold's Nachf. (Köln) construierte heizbare Objecttisch (Fig. 171) besteht im wesentlichen aus einem aus Glasplatten zusammengesetzten Kästchen, das durch das bei a ein- und bei b ausströmende Wasser erwärmt wird. In die 3 auf der Vorderseite sichtbaren grösseren Vertiefungen werden nun direct die die Objecte im hängenden Tropfen tragenden Deckgläschen gebracht; die kleineren Vertiefungen haben dagegen nur den Zweck, das Abheben der Deckgläschen zu erleichtern.

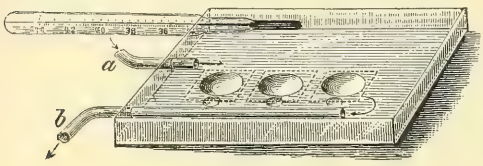


Fig. 171.

§ 376. 4. Die von Israel (I) empfohlene Wärmevorrichtung wird im Gegensatz zu den bisher besprochenen Apparaten über dem zu erwärmenden Präparat angebracht und besteht, wie Fig. 172 zeigt, aus

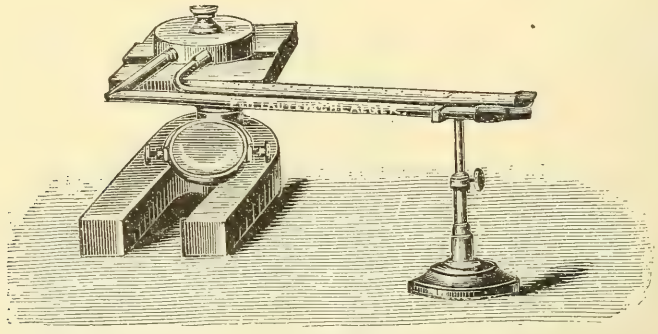


Fig. 172.

einem ringförmigen Metallgefäss, das, wie der vorige Apparat, mit einem Zu- und Ableitungsrohr für warmes Wasser versehen ist. Durch eine zwischen der Ansatzstelle dieser beiden Röhren in dem ringförmigen Gefässe angebrachte Längswand wird übrigens bewirkt, dass das zugeleitete Wasser den Apparat vollständig durchströmen muss.

Aus Fig. 173, die die Wärmevorrichtung in Verbindung mit dem zu erwärmenden Präparat im Längsschnitt darstellt, ist ferner ersichtlich,

dass das Metallgefäss (G) dem Objectträger (O) und dem Rande des Deckgläschens (D) direct aufliegt. Das letztere befindet sich in diesem Falle in einer entsprechenden Einsenkung des zur Beobachtung in hängenden Tropfen bestimmten Objectträgers. Es kann bei diesem Apparate

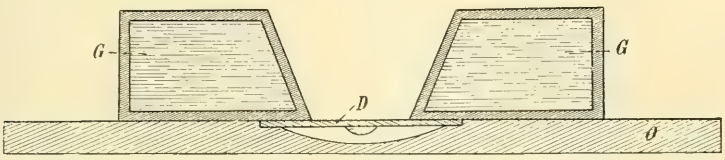


Fig. 173.

natürlich der Beleuchtungsapparat vollständig ausgenutzt werden; ausserdem zeichnet er sich, abgesehen von seiner Billigkeit, noch dadurch aus, dass er wie der zuletzt besprochene ohne weiteres an jedem beliebigen Stativ angebracht werden kann.

§ 377. Alle bisher beschriebenen Apparate sind, wie namentlich von Engelmann (IV) nachgewiesen wurde, mit sehr erheblichen Fehlerquellen behaftet, insofern durch die umgebende Luft und namentlich auch durch das mit dem Stativ in Verbindung stehende Objectiv ein grosser Wärmeverlust herbeigeführt wird. Das an den heizbaren Objecttischen befindliche Thermometer wird somit im allgemeinen nicht die wirkliche Temperatur des Präparates anzeigen, und es ist auch bei der Complicirtheit der hier in Frage kommenden Factoren nicht möglich, diese Temperatur durch Rechnung zu ermitteln. Um dieselbe aber empirisch festzustellen, brachte Schultze (I) an Stelle des mikroskopischen Präparates eine Substanz, deren Schmelzpunkt er zuvor genau bestimmt hatte und ermittelte, bei welchem Stande des am heizbaren Objecttisch befindlichen Thermometers diese Substanz zu schmelzen anfieng. Sehr geeignet ist zu derartigen Versuchen z. B. eine Emulsion von Paraffin, Stearin, Talg, Vaselin oder Cacaobutter in Wasser oder Gummischleim. Engelmann (IV) fand in dieser Weise bei Benutzung sehr starker Objective Fehler von über 20°. Im allgemeinen betragen dieselben aber doch nur wenige Grade, und es genügt dann auch, wenn man nicht sehr genaue Bestimmungen machen will, in der beschriebenen Weise die für die jeweiligen Bedingungen erforderliche Correction zu bestimmen.

Erwähnen will ich übrigens noch, dass Engelmann (IV) den vom Objectiv bewirkten Wärmeverlust dadurch bedeutend herabmindern konnte, dass er zwischen Tubus und Objectiv eine 30 *mm* lange Elfenbeinröhre einschaltete.

§ 378. 4. Von Sachs (I, 706) wurde wohl zuerst der Vorschlag gemacht, den ganzen unteren Theil des Mikroskops in einen Wärmkasten einzuschliessen, aus dem nur die Einstellungsvorrichtung und der Tubus herausragt. Figur 174 stellt diesen Apparat in der Form, in der er neuerdings von C. Zeiss hergestellt wird, dar. Er besteht hier aus einem auf dicker Metallplatte ruhenden Kasten aus Mahagoniholz, der auf der Vorderseite ein Fenster besitzt, durch das das nöthige Licht auf den Spiegel des Mikroskops fällt und ausserdem auf beiden Seiten eine mit Klappe zu verschliessende Oeffnung als Zugang für die Hände beim Bewegen des Präparats. Die Erwärmung des Kastens geschieht durch einen Mikrobrenner, dessen Flamme durch den auf der linken Seite der Fig. 174 sichtbaren Thermostaten reguliert wird. Auf der rechten Seite des Apparates ist ferner das in den Luftraum desselben hineinragende Thermometer sichtbar.

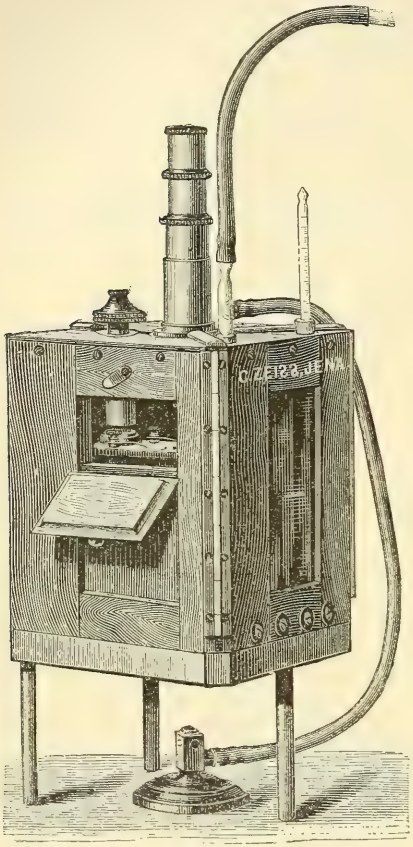


Fig. 174.

Es leuchtet ein, dass dieses Thermometer, wenn sich das Mikroskop und Präparat einige Zeit in dem Apparate befinden, direct die im Präparat vorhandene Temperatur anzeigt.

§ 379. 5. Bei dem von Pfeffer (I) vorgeschlagenen heizbaren Objecttisch befindet sich, wie aus Fig. 175 ersichtlich ist, der Objectträger (O) ganz innerhalb eines Glasgefässes (g), das durch die mit zwei Armen (k) versehene Kupferplatte erwärmt wird. Zu diesem Zwecke dienen die beiden Flammen (f), deren Gaszufluss durch den Thermostaten r reguliert wird. Das Thermometer t dient zur Ablesung der Temperatur.

Am einfachsten gestaltet sich nun die Benutzung dieses Apparates, wenn das betreffende Präparat ohne Schaden ganz unter Wasser getaucht werden darf und zur Beobachtung ein Wasser-Immersionssystem

benutzt wird. Es empfiehlt sich dann nur das Deckgläschen mit Wachsfüsschen oder dergl. auf dem Objectträger festzukleben. Will man das betreffende Object dagegen im Hängetropfen beobachten, so muss man

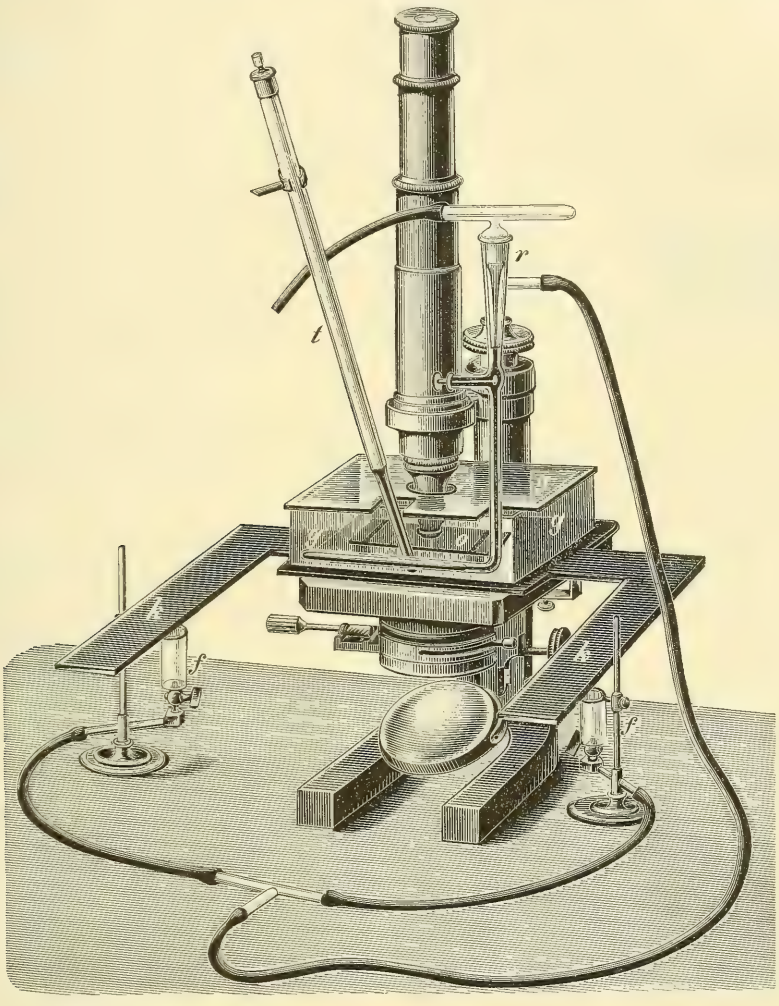


Fig. 175.

natürlich eine luftdicht verschliessbare Kammer benutzen. Von den vielen in dieser Hinsicht vorgeschlagenen erwähne ich nur die Fig. 176 abgebildete.

Bei derselben wird ein mit kreisförmiger, durch das Deckglas verschlossener Oeffnung versehener Objectträger (n) einem zweiten Objectträger (l) mittelst schwer schmelzbaren Fettes luftdicht aufgesetzt und

durch starke Kautschukringe fest angepresst. Um einen Luftwechsel zu ermöglichen, ist ferner das Glasröhrchen (z) einer Durchbohrung des oberen Objectträgers eingekittet, die durch die eingeschliffene Rille (i) mit der Luftkammer communiciert.

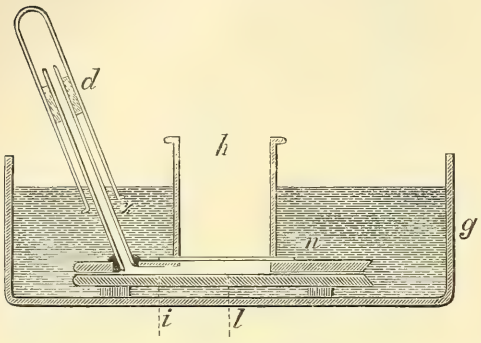


Fig. 176.

Um auch Trockensysteme benutzen zu können, umgibt man dieselben zweckmässig mit einer conischen Hülse, durch die der Frontfläche des Objectivs ein dünnes Deckglas dicht angepresst wird, oder man kittet in der aus Fig. 176 ersichtlichen Weise auf das betreffende Deckglas einen genügend weiten dünnwandigen Glascylinder (h), der am oberen Rande vortheilhaft mit etwas Wachs überzogen wird. Die letztere Zusammenstellung gestattet natürlich auch die Anwendung von Oel-Immersions-Systemen.

Die Leistungsfähigkeit dieses Apparates dürfte am besten daraus hervorgehen, dass bei Versuchen von Pfeffer die Schwankungen des neben dem Objectträger fixierten Thermometers bei einer Wassertemperatur von 50° C. während 12 Stunden nur ± 0, 1° C. betrugen. Allerdings wurde in diesem Falle auch die Zimmertemperatur so reguliert, dass sie nur um 2° C. schwankte.

d) Die partielle Beleuchtung der Präparate.

§ 380. Will man eine partielle Beleuchtung des Gesichtsfeldes bewirken, so kann man nach der von Engelmann (II, 538) vorgeschlagenen Methode verfahren und zwischen dem Planspiegel des Abbe'schen Beleuchtungsapparates und der Lichtquelle einen Schirm mit entsprechender Oeffnung einschalten und diesen so orientieren, dass der Condensor von der im Schirm befindlichen Oeffnung in der Objectebene ein stark verkleinertes Bild entwirft. Als Schirm kann man hierbei z. B. eine mit kreisförmigen Oeffnungen von verschiedenem Durchmesser versehene Scheibe benutzen, die in der betreffenden Ebene durch Drehung eingestellt werden. Natürlich lässt sich in der gleichen Weise durch entsprechende Blendungen auch die Hälfte oder ein beliebiger Theil des Gesichtsfeldes verdunkeln.

e) Die Erzeugung elektrischer Ströme im mikroskopischen Präparat (Elektrischer Objectträger).

§ 381. Die älteren Untersuchungen über den Einfluss elektrischer Ströme auf die Plasmaströmung und auf die Constitution des Protoplasmas wurden zum grössten Theil unter Anwendung von Inductionsapparaten ausgeführt, und es wurde dabei auf die Richtung des Stromes und auf die quantitative Bestimmung der Stromstärke meist kein Gewicht gelegt. Namentlich bei den neueren Untersuchungen über den Galvanotropismus kamen dagegen die direct von den Elementen gelieferten constanten Ströme in Anwendung.

Durch Benutzung von unpolarisierbaren Elektroden wurde ferner das Auftreten von Polarisationsströmen verhindert, so dass die Stromrichtung genau bestimmt und auch die Stromstärke während längerer Zeit auf annähernd constanter und genau zu bestimmender Höhe gehalten werden konnte.

§ 382. Handelt es sich nun zunächst um Untersuchungen, bei denen gewöhnliche polarisierbare Elektroden verwandt werden können, so kann man sich einen geeigneten „elektrischen Objectträger" natürlich leicht aus einem gewöhnlichen Objectträger, auf dem man mit erwärmtem oder in Alkohol gelöstem Siegellack Staniolstreifen in entsprechender Orientierung befestigt, herstellen. Ganz geeignet fand ich zu diesem Zwecke auch die in der Fig. 177 skizzierte Zusammen-

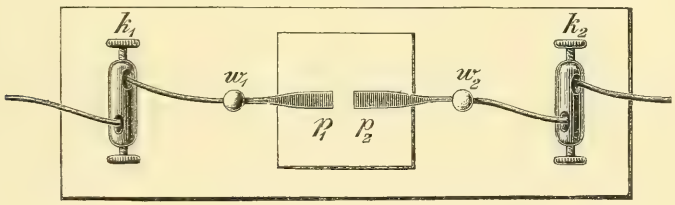


Fig. 177.

stellung, bei der als Elektroden Platindrähte benutzt werden, die an ihrem freien Ende (p_1, p_2) zu einer Platte ausgepresst sind, so dass sie sich auch bei dünner Wasserschicht bequem unter das Deckglas schieben lassen. Zur Verbindung mit den Leitungsdrähten der Batterie oder der secundären Spirale des Inductionsapparates dienen die kleinen Klemmschrauben (k_1, k_2), die man durch Klebwachs oder Siegellack auf dem Objetträger befestigen kann. Um diesen aber leicht verschieben zu können, bringt man in diese Klemmen zweckmässig feine Kupferdrähte, die dann erst durch weitere Klemmschrauben mit den dickeren Leitungsdrähten in Verbindung gebracht werden.

Um auf der anderen Seite zu bewirken, dass die Platinelektroden dem Objectträger platt anliegen, kann man sie auch noch durch einen kleinen Klumpen Klebwachs oder Siegellack (w) auf dem Objectträger befestigen. Das Klebwachs hat in dieser Hinsicht natürlich den Vortheil, dass es eine Verschiebung der Elektroden sehr erleichtert, und haftet überdies an trockenem Glase sehr gut. Um schliesslich diesen Objectträger auf dem Objecttisch des Mikroskops zu befestigen, kann man die gewöhnlichen Klammern benutzen; falls eine Berührung mit den Zuleitungsdrähten zu befürchten ist, kann man ja den vorderen Theil derselben mit einem Kautschukschlauch oder dergl. überziehen.

§ 383. Die Construction der unpolarisierbaren Elektroden beruht auf der von E. Dubois Reymond (I) nachgewiesenen Thatsache, dass der Polarisationsstrom ganz unterbleibt, wenn man Elektroden aus amalgamiertem Zink verwendet, die man in eine conc. Lösung von Zinksulfat eintaucht. Da es nun aber natürlich nicht möglich ist, die lebenden Objecte direct in die Zinksulfatlösung zu tauchen, ohne ihre Lebensfähigkeit sofort zu zerstören, so muss man offenbar zwischen der Zinksulfatlösung der beiden Elektroden und der physiologisch indifferenten Beobachtungsflüssigkeit eine poröse mit Flüssigkeit durchtränkte Substanz einschalten, die einerseits keinen zu grossen Leitungswiderstand bewirkt und andererseits eine Mischung der beiden Flüssigkeiten für längere Zeit verhindert.

Von Dubois (II) werden nun zu diesem Zwecke namentlich Bäusche oder mehrfache Lagen von Fliesspapier, das mit Wasser oder wegen der besseren Leitungsfähigkeit mit 0·75—2 proc. Kochsalzlösung durchtränkt ist, empfohlen. Um ferner die Elektricität nach ganz bestimmten Stellen des zu untersuchenden Objectes hinleiten zu können, empfiehlt der genannte Autor, die Elektroden an ihren Enden mit entsprechend gestalteten Fortsätzen aus plastischem Modellierthon, der ebenfalls mit verdünnter Kochsalzlösung durchtränkt ist, zu versehen.

§ 384. Speciell für mikroskopische Zwecke wurden diese unpolarisierbaren Elektroden wohl zuerst von Engelmann (VI, 385 u. V) angewandt, der die bereits § 371 beschriebene mikroskopische Glaskammer in der Weise modificierte, dass er die an der Oberseite derselben befindliche Metallplatte durch eine deckelartig abzuhebende Glasplatte (a, Fig. 178) ersetzte. An dieser befinden sich zunächst 2 Löcher (b und c), über denen die zur Aufnahme der Elektroden dienenden Glasringe (d u. e) der Glasplatte aufgekittet sind. Die Elektroden werden ferner gebildet durch die Glasröhrchen g und f, die im oberen Theile die von concentrierter Zinkvitriollösung umgebenen amalgamierten Zinkstäbe (o u. n) enthalten. In ihrem unteren Theile sind sie dagegen mit plastischem Thon, der mit verdünnter Kochsalzlösung durchtränkt ist, erfüllt. Um nun aber

von diesen Elektroden aus den galvanischen Strom nach den an der Unterseite des Deckglases (m) befindlichen Objecten zu leiten, sind an der Glasplatte (a) zwei halbcylindrische Glasrinnen (i u. k) angekittet,

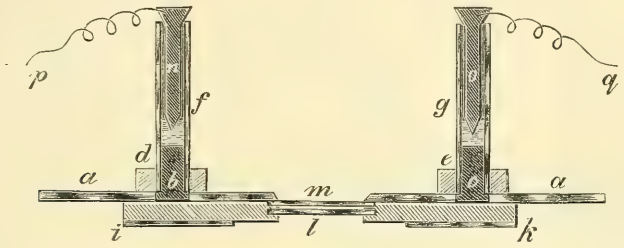


Fig. 178.

in welche mit Kochsalz getränkte Papierbäusche gebracht werden. Von diesen Papierbäuschen wird denn auch ein zweites Deckglas (l) gehalten, das den die Objecte tragenden Tropfen nach unten hin abschliesst.

§ 385. Eine ausgedehnte Anwendung haben die unpolarisierbaren Elektroden ferner bei den Verworn'schen Untersuchungen über die Galvanotaxis der niederen Organismen gefunden. Um zunächst die Orte, in denen der elektrische Strom in die Flüssigkeit ein- und austritt, beliebig variieren zu können, benutzt Verworn (I, 31) die in Fig. 179 abgebildeten beweglichen Elektroden. Bei denselben wird der von der Batterie aus zugeleitete Poldraht (P) mit Hilfe der Schraube (B) mit dem amalgamierten Zinkstabe (Z) in Verbindung gebracht, dieser taucht mit dem anderen Ende in eine concentrierte Lösung von Zinkvitriol, die sich in dem Glasrohr G befindet. Letzteres wird nach unten hin mit einem Pfropf (T) von plastischem Thon verschlossen, in den endlich die Spitzenelektrode (S), die aus porösem Thon gefertigt ist, hineingeschoben ist. Eine zu dem ersteren Zwecke geeignete plastische Thonmasse erhält man z. B., wenn man die officinelle Bolus alba mit wenig Wasser zu einem dicken Brei anrührt. Aus festem porösem Thon bestehen dagegen z. B. die Thonzellen verschiedener galvanischer Elemente und kann man Stücken von demselben durch Bearbeitung mit einer Feile leicht jede beliebige Form geben.

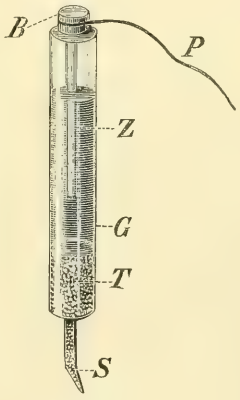


Fig. 179.

Soll dagegen die gesammte Flüssigkeit gleichmässig von dem elektrischen Strome durchwandert werden, so benützt Verworn (I, 7) die in Figur 180 dargestellte Zusammenstellung, in der die Thonspitze

der soeben beschriebenen Elektrode durch einen Pinsel (P) ersetzt ist, der in den plastischen Thon eingesenkt und mit physiologischer Kochsalzlösung durchtränkt ist. Die zu prüfenden Organismen befinden sich in diesem Falle in dem viereckigen Raume (c), der auf zwei Seiten von ca. $1\frac{1}{2}$ *mm* dicken und 2 *cm* langen Leisten (a, b) aus porösem Thon begrenzt ist, die auf dem Objectträger mit einem aus Wachs und Kolophonium bestehenden Kitt befestigt sind. An diese Leisten werden, wie in Fig. 180 auf der einen Seite dargestellt ist, die Pinselelektroden angelegt; die beiden anderen Seiten (d, e) des Rechteckes (c) werden dagegen einfach durch einen aufgekitteten Wall von dem Wachs-Kolophonium-Kitt begrenzt. Als Elektricitätsquelle für constanten Strom benutzte Verworn eine Chromsäure-Tauchbatterie von 12 Elementen (von je 17 *cm* Höhe und 11 *cm* Breite der Gläser).

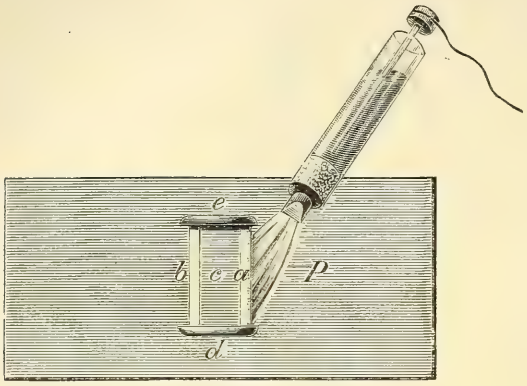


Fig. 180.

f) Mikroskopischer Nachweis von Chemotropismus und Chemotaxis.

§ 386. Als Chemotropismus und Chemotaxis werden bekanntlich die durch Concentrationsdifferenzen bestimmter Stoffe hervorgerufenen Reizerscheinungen bezeichnet. Während nun aber durch die Chemotaxis auf die Bewegung freibeweglicher Organismen ein richtender Einfluss ausgeübt wird, handelt es sich bei dem Chemotropismus um Wachsthumskrümmungen von auf dem Substrat festsitzenden Organismen. Man unterscheidet ferner zwischen positiver und negativer Chemotaxis (resp. Chemotropismus), je nachdem die Bewegungsrichtung der concentrierteren Lösung des betreffenden Stoffes zugekehrt, oder von ihr abgekehrt ist.

Die zum mikroskopischen Nachweis dieser Reizerscheinungen dienende Methodik ist nun zunächst eine verschiedene, je nachdem der als Reiz wirkende Stoff ein Gas oder eine in dem Culturmedium gelöste Flüssigkeit oder feste Substanz darstellt. Von Gasen ist nun in dieser Beziehung bisher namentlich mit dem Sauerstoff operiert worden, und wir wollen uns denn auch in dieser Beziehung auf die bei diesen Versuchen angewandte Methodik beschränken. Alsdann sollen die beiden beim Operieren mit Lösungen angewandten Methoden, die als „Capillar-

methode" und als „Membranmethode" bezeichnet werden mögen, besprochen werden.

§ 387. I. Vom Sauerstoffgehalt abhängige Reizbewegungen kann man zunächst in der Weise hervorrufen, dass man für einseitigen Sauerstoffzutritt sorgt. Dies geschieht nun, wenn die betreffenden Organismen den in der Culturflüssigkeit enthaltenen Sauerstoff schnell durch Athmung verbrauchen, schon dadurch, dass man einen Tropfen der Culturflüssigkeit in der gewöhlichen Weise mit einem Deckglas bedeckt und das Präparat dann zur Vermeidung der Verdunstung in einen feuchtgehaltenen Raum bringt. Man beobachtet so, dass sich die für Sauerstoff positiv chemotaktischen Bacterien am Rande des Deckglases ansammeln, während die im allgemeinen negativ chemotropischen Pollenschläuche sich vom Deckglasrande abkrümmen. Entsprechende Erscheinungen können auch eventuell in der Umgebung von gleichzeitig im Präparat enthaltenen Luftblasen beobachtet werden.

§ 388. Will man eine continuierliche Sauerstoffzufuhr erhalten, so kann man auch in der Weise verfahren, dass man nach der von Engelmann herrührenden Methode eine assimilierende Alge oder dgl. in das Präparat mit einschliesst. Wird das Präparat dann dem Licht ausgesetzt, so wird bekanntlich durch Zerlegung der Kohlensäure Sauerstoff ausgeschieden, der z. B. eine Ansammlung von Bacterien in der Umgebung der Alge bewirken kann. Man thut übrigens in diesem Falle gut, relativ große Deckgläser zu nehmen und dieselben, damit nicht gleichzeitig eine Ansammlung am Rande stattfindet, durch Umranden mit Paraffin, Wachs oder Cacaobutter nach außen abzuschliessen.

§ 389. II. Bei der von Pfeffer (II. und III.) zuerst angewendeten Capillarmethode wird eine Lösung von dem auf seine Reizwirkung zu prüfenden Stoffe in eine einseitig zugeschmolzene Capillarröhre eingefüllt und diese dann auf dem Objectträger in die die betreffenden Organismen enthaltende Flüssigkeit hineingeschoben. Die betreffenden Capillaren wählt Pfeffer je nach der Grösse der zu untersuchenden Organismen 0·03—0·12 *mm* dick und gibt ihnen eine Länge von 4—7 *mm*. Das Einfüllen der Flüssigkeit geschieht durch partielles Evacuieren, doch ist dasselbe nur soweit zu treiben, dass am zugeschmolzenen Ende ein Luftraum von 2—4 *mm* Länge übrig bleibt. Die Reinigung der betreffenden Capillaren bewirkt Pfeffer in der Weise, dass er die Versuchsflüssigkeit durch entsprechendes Evacuieren zunächst ein oder zweimal aussaugt. Nach schnellem Abschwenken in Wasser wird dann die Capillare den im Wasser vertheilten Organismen zugesetzt.

Um einen Mangel an Sauerstoff zu vermeiden, beobachtet man womöglich ohne Deckglas; bei längerer Versuchsdauer ist natürlich durch Uebertragung in eine feuchte Kammer oder dadurch, dass man die Organismen

in den hängenden Tropfen einer feuchten Kammer bringt, die Verdunstung des Beobachtungstropfens zu verhüten.

Von Wichtigkeit für den Ausfall der Reaction ist natürlich auch die Zusammensetzung der die betreffenden Organismen enthaltenden Flüssigkeit; bei quantitativen Untersuchungen und wenig empfindlichen Objecten empfiehlt es sich, dieselbe möglichst arm an chemotaktisch wirksamen Stoffen zu machen.

§ 390. Ein Austritt der in der Capillare enthaltenen Stoffe kann natürlich einerseits durch Massenströmungen, die auf ungleichem specifischen Gewicht oder Temperaturdifferenzen beruhen, und andererseits durch Diffusion bewirkt werden. Der erstere Factor kommt natürlich namentlich bei Anwendung weiterer Capillaren und concentrierter Lösungen in Betracht.

Bei derartigen Versuchen ist es wohl am zweckmässigsten, dass man der in das Capillarrohr einzufüllenden Lösung soviel Gelatine zusetzt, dass die Flüssigkeit im Capillarrohr beim Erkalten erstarrt. Auf alle Fälle ist es sehr instructiv, sich durch Einfüllung gefärbter Lösungen von der Geschwindigkeit des Stoffaustausches zwischen dem Capillareninhalt und der umgebenden Flüssigkeit zu überzeugen.

Zu orientierenden Versuchen können die gewöhnlichen Fäulnisbacterien dienen, die man z. B. jederzeit leicht erhalten kann, wenn man zerschnittene Erbsen einfach in Wasser faulen lässt. Dieselben werden u. a. von 2% neutralisierten Lösungen von Fleischextract sehr intensiv angelockt.

§ 391. III. Bei der namentlich von Miyoshi (I) bei Untersuchungen über den Chemotropismus mit gutem Erfolg verwandten Membranmethode lässt man den auf seine Reizwirkung zu prüfenden Stoff durch Diffusion aus feinen Poren zu den betreffenden Organismen gelangen. Als Membranen benutzte Miyoshi in erster Linie Glimmerplättchen oder Collodiumhäutchen; die letzteren erhielt er dadurch in hinreichend straffer und geschmeidiger Form, dass er dem Collodium vor dem Ausgiessen etwas Mandelöl zusetzte. In diese Häutchen wurden feine Löcher hineingestochen, dann die zu untersuchenden Organismen, z. B. Pilzsporen, auf der einen Seite derselben ausgesät, und die andere Seite mit dem Reizstoff in Contact gebracht. Derselbe war entweder einfach in Wasser gelöst oder befand sich in einer durch Zusatz von Gelatine zum Erstarren gebrachten Gallerte. Wirkte der betreffende Stoff positiv chemotropisch, so mussten sich die betreffenden Pilzfäden offenbar nach den in den betreffenden Membranen enthaltenen Oeffnungen hinkrümmen.

§ 392. Ausserdem operierte Miyoshi übrigens auch mit Blattstücken (z. B. denen von Tradescantia discolor), in denen die Spalt-

öffnungen die nöthigen Oeffnungen darstellen. Die Blattstücke werden in diesem Falle mit einer Wasserstrahlpumpe mit der zu prüfenden Lösung injiciert, und es werden dann nach schnellem Abspülen mit Wasser und äusserlichem Abtrocknen mit Fliesspapier die betreffenden Pilzsporen oder dergl. auf die spaltöffnungsführende Unterseite der Blätter ausgesät.

Den erstbesprochenen Häuten gegenüber sind nun aber die injicierten Blätter dadurch im Nachtheil, dass einerseits durch den beim Absterben der Blattzellen eintretenden Austritt der Inhaltstoffe derselben das Resultat beeinflusst werden kann und dass andererseits die künstlichen Häute auch vollständig sterilisiert werden können. Schliesslich ist bei den imbibierten Häuten auch eine gewisse Diffusion durch dieselben hindurch möglich.

§ 393. Um auf negativen Chemotropismus zu prüfen, verfährt man zweckmässig in der Weise, dass man den zu erprobenden Stoff einer Lösung zusetzt, von der zuvor nachgewiesen ist, dass sie sicher positiv-chemotropisch wirkt. Unterbleibt bei Anwendung dieses Gemisches die Anlockung der Pilzfäden, so beruht dies offenbar auf der Repulsionswirkung des zugesetzten Stoffes.

2. Die chemische Präparation.

a) Die Ausführung mikrochemischer Reactionen.

§ 394. Für die Beurtheilung mikrochemischer Reactionen ist es in den meisten Fällen von Vortheil, wenn man den Verlauf derselben unter dem Mikroskop verfolgen kann. Man wird also in derartigen Fällen erst dann einen Tropfen von dem betreffenden Reagens an den Rand des Deckgläschens bringen, wenn man die zu prüfende Stelle des Präparats genau eingestellt hat. Um den Zutritt des Reagenz zu beschleunigen, kann man ferner mit Fliesspapier von der entgegengesetzten Seite her die Flüssigkeit absaugen.

§ 395. Will man das Reagens dagegen ganz allmählich zutreten lassen, so kann dies mit Hilfe einer der von Naegeli und Schwendener (I, 467) vorgeschlagenen Methoden geschehen. Bei der ersten derselben bringt man unter das Deckgläschen gleichzeitig einen feinen baumwollenen oder leinenen Faden und tränkt das unter dem Rande des Deckgläschens hervorstehende Ende desselben mit einem Tropfen des Reagenz, das sich dann natürlich allmählich in der Beobachtungsflüssigkeit ausbreitet. Dasselbe geschieht natürlich ferner auch, wenn man der Beobachtungsflüssigkeit einen kleinen Splitter von dem in dieser löslichen festen Reagenz zusetzt. Schliesslich kann man bei schwächerem Ver-

grösserungen und Reagentien, die das Objectiv nicht angreifen, auch in der Weise verfahren, dass man das betreffende Präparat in einen Tropfen einer derartig verdünnten Lösung des Reagens bringt, dass dieselbe noch keine Reaction hervorruft. Ueberlässt man dann das Präparat, ohne ein Deckglas aufzulegen, der Verdunstung, so wird man mit der allmählich steigenden Concentration nach und nach alle Stadien der betreffenden Reaction eintreten sehen. Zu beachten ist hierbei noch, dass, wie Naegeli (I) specieller nachgewiesen hat, namentlich infolge der stärkeren Krümmung am Rande des Tropfens die Verdunstung dort eine stärkere sein muss und dass infolge dessen eine Massenströmung nach dem Rande des Präparates hin eintreten muss. Da nun ferner die zur Aufhebung etwaiger Concentrationsdifferenzen führenden Diffusionsströmungen relativ langsam verlaufen, so wird die Versuchsflüssigkeit am Rande im allgemeinen erheblich schneller an Concentration zunehmen als in der Mitte und man hat so also den Vortheil, alle möglichen Stadien der Reaction an nebeneinander liegenden Objecten beobachten und miteinander vergleichen zu können.

§ 396. Will man den Einfluss gasförmiger Verbindungen unter dem Mikroskope verfolgen, so kann dies natürlich mit Hilfe einer der §§ 364—366, 370 und 371 besprochenen feuchten Kammern oder Gaskammern geschehen. Handelt es sich z. B. darum, die allmähliche Wirkung der Salzsäuredämpfe zu studieren, so kann man in der Weise verfahren, dass man unter Anwendung der in § 365 beschriebenen Schultze'schen feuchten Kammer (cf. Fig. 161) in die auf dem Objectträger befindliche Rinne concentrierte Salzsäurelösung bringt, deren Dämpfe sich dann allmählich in dem am Deckglas befindlichen Hängetropfen verbreiten.

b) Die Aufhellung.

§ 397. Präparate, die durch körnige Einschlüsse oder dergl. im durchfallenden Lichte mehr oder weniger undurchsichtig erscheinen, können entweder dadurch durchsichtig gemacht, „aufgehellt" werden, dass man die körnigen Einschlüsse durch Lösung entfernt oder wenigstens zu so starker Quellung bringt, dass sie sich nicht mehr beträchtlich durch höheren Brechungsindex von der Einschlussflüssigkeit unterscheiden, oder man überträgt das betreffende Präparat in eine Flüssigkeit, die möglichst annähernd den gleichen Brechungsindex wie die betreffenden Einschlüsse besitzt und dieselbe dadurch unsichtbar macht. Man kann diese zweite Art der Aufhellung, als die physikalische Aufhellung, der ersten Art, die man wohl als chemische Aufhellung bezeichnen kann, gegenüberstellen.

§ 398. Ein specifisch chemisch wirksames Aufhellungsmittel stellt z. B. die Kalilauge dar, die namentlich in embryonalen Pflanzenzellen fast alle Inhaltsbestandtheile in Lösung überführt oder zu so starker Quellung bringt, dass sie sich gar nicht oder nur wenig von dem Wasser unterscheiden. Specifisch physikalisch aufhellend wirkt dagegen z. B. Canadabalsam, der annähernd den gleichen Brechungsindex wie die Zellmembran, die Stärkekörner und andere Inhaltsbestandtheile der Zelle besitzt, so dass diese Körper nach der Uebertragung in Canadabalsam fast ganz unsichtbar werden. Auf der anderen Seite gibt es nun aber auch verschiedene Stoffe, die gleichzeitig eine chemische und physikalische Aufhellung hervorrufen. So bewirkt z. B. eine concentrierte Lösung von Chloralhydrat eine Auflösung oder Verquellung der meisten Zellbestandtheile, während sie auf der anderen Seite infolge ihres hohen Brechungsindex auch eine physikalische Aufhellung erzeugt.

Da nun aber die chemisch wirksamen Aufhellungsmittel im allgemeinen sehr tiefgreifende Zersetzungen der verschiedenen Zellbestandtheile veranlassen, ist die Anwendung derselben natürlich auf ganz bestimmte Fälle, in denen es sich um die Untersuchung ganz besonders resistenter Zellbestandtheile, z. B. der Zellmembranen, handelt, beschränkt.

Dahingegen sind die specifisch physikalisch wirksamen Aufhellungsmittel einer viel allgemeineren Anwendung fähig und werden namentlich bei farbigen oder künstlich gefärbten Objecten benutzt. Es wird in derartigen Fällen bei der Wahl des Aufhellungsmittels in erster Linie darauf Gewicht zu legen sein, ob man nur die gefärbten Theile des betreffenden Präparates beobachten will, oder ob man gleichzeitig auch die auf ungleicher Lichtbrechung beruhenden Structuren sichtbar machen will. In ersterem Falle wird man natürlich ein Aufhellungsmittel wählen, dessen Brechungsindex mit demjenigen der verschiedenen Bestandtheile des Präparats möglichst übereinstimmt; dies ist z. B. sowohl bei thierischen als auch bei pflanzlichen Objecten beim Canadabalsam und beim Nelkenöl der Fall, in dem ja auch infolge dessen ungefärbte Schnitte fast ganz unsichtbar sind. Weniger aufhellend wirkt dagegen z. B. schon Dammarlack, noch weniger venetianisches Terpentinöl und Glycerin. Immerhin bewirken jedoch auch diese Medien wie man durch Vergleichung mit in Wasser befindlichen Präparaten leicht feststellen kann, noch eine erhebliche Aufhellung.

In der nun folgenden Besprechung der Anwendungs- und Wirkungsweise der verschiedenen Aufhellungsmittel soll mit den specifisch chemisch wirksamen begonnen werden, während die lediglich physikalisch wirkenden an den Schluss gestellt sind.

§ 399. 1. **Kalihydrat** bildete früher fast das einzige bei der Untersuchung pflanzlicher Gewebe in Anwendung kommende Aufhellungsmittel und wurde theils in wässeriger, theils in alkoholischer, oder auch in wässerig-alkoholischer Lösung angewandt. Bei plasmareichen Zellen ist häufig eine mehrstündige oder mehrtägige Einwirkung zur völligen Aufhellung nothwendig. Zu durchsichtige Präparate können nach dem Absaugen der Kalilauge und oberflächlichem Auswaschen mit verdünnter Salz- oder Essigsäure behandelt werden. Werden sie dann wieder zu undurchsichtig, so kann man sie nochmals mit Kalilauge, oder auch mit Ammoniak behandeln. Werden derartige Präparate in Glyceringelatine aufbewahrt, so werden sie meist in einigen Jahren dunkel und trübe.

§ 400. 2. **Verdünnte Säuren** werden namentlich in der Thier-Histologie zum Aufhellen angewandt. Man benutzt namentlich sehr verdünnte Lösungen von Salzsäure, Essigsäure oder Ameisensäure.

§ 401. 3. **Eau de Javelle** (Kaliumhypochlorit). Dieselbe wirkt sehr energisch und zerstört namentlich auch die verschiedenartigsten Färbungen sehr schnell. Sie kann in der Weise bereitet werden, dass man eine concentrierte wässerige Lösung von Chlorkalk so lange mit einer Lösung von Kaliumoxalat versetzt, als noch ein Niederschlag entsteht und die Flüssigkeit von diesem Niederschlage abfiltriert oder auch durch Decantieren trennt.

Die gewöhnliche Eau de Javelle ist häufig calciumhaltig und bildet dann bei der Berührung mit Luft einen Niederschlag von Calciumcarbonat. Dasselbe kann durch Essigsäure leicht entfernt werden. Die Eau de Javelle wird sowohl für thierische als auch pflanzliche Präparate angewandt.

§ 402. 4. **Chloralhydrat.** Chloralhydrat wird gewöhnlich in sehr concentrierter Lösung, die auf 5 Theile Wasser 8 Theile Chloralhydrat enthält, angewandt. Eine solche Lösung besitzt nach Lenz (I) einen Brechungsindex von 1·4272, sie bewirkt also auch eine beträchtliche physikalische Aufhellung. Noch bedeutender ist aber die chemische Wirkung, die das Chloralhydrat auf die verschiedenen Zellbestandtheile ausübt; die Stärkekörner bringt es zu starker Quellung, die schliesslich in Lösung übergeht. Bei solchen Objecten, die durch die concentrierte Chloralhydratlösung zu stark aufgehellt werden, ist dieselbe zweckmässig vor dem Zusatz mit Wasser zu verdünnen.

§ 403. 5. **Phenol.** Dasselbe kann in wässeriger oder auch in alkoholischer Lösung zur Aufhellung benutzt werden. Durch Erwärmen lässt sich die Wirkung desselben bedeutend beschleunigen.

§ 404. 6. **Natriumsalicylat.** Von Lenz (I) wurde vor kurzem eine Lösung aus gleichen Gewichtstheilen reinem krystallisierten Natriumsalicylat und Wasser als Aufhellungsmittel empfohlen. Dieselbe besitzt

den Brechungsindex 1·4497, veranlasst also eine stärkere physikalische Aufhellung als die concentrierte Chloralhydratlösung. Ausserdem bewirkt sie eine schnelle Quellung der Stärkekörner und eine Lösung der plasmatischen Zellbestandtheile, während sie die Zellmembranen nicht angreift.

§ 405. 7. **Glycerin.** Dasselbe kann je nach der beabsichtigten Wirkung in sehr verschiedener Concentration angewandt werden. Die stärkste Aufhellung bewirkt natürlich concentriertes Glycerin, das den Brechungsindex 1·473 besitzt. Beim Stehen an der Luft zieht das concentrierte Glycerin übrigens allmählich Wasser an.

Bei zarten Objecten tritt bei der directen Uebertragung aus Wasser in Glycerin häufig eine starke Schrumpfung ein. Diese lässt sich jedoch meist dadurch verhindern, dass man die betreffenden Objecte — lebende Organismen sind vorher zu tödten, etwa durch Osmiumsäuredämpfe (cf. § 444) — aus Wasser zunächst auf dem Objectträger in einen Tropfen 10-proc. Glycerinlösung überträgt und diesen sich dann an der Luft, durch Bedecken mit einer Glasglocke vor Staub geschützt, allmählich concentrieren lässt. Nach wenigen Stunden ist dann meist bereits eine solche Concentration erreicht, dass bei einer nunmehrigen Uebertragung in concentriertes Glycerin keine Schrumpfung eintritt.

§ 406. 8. **Aetherische Oele** und **Xylol.** Von ätherischen Oelen wurde bisher namentlich Nelkenöl, ferner aber auch Origanumöl, Lavendelöl, Bergamottöl u. a. zur Aufhellung verwandt. Da aber viele dieser Oele auf manche Farbstoffe eine zerstörende Wirkung ausüben, wird neuerdings von vielen Autoren für die meisten Fälle dem ähnlich wirkenden, überdies bedeutend billigeren Xylol der Vorzug gegeben.

§ 407. Da die genannten Substanzen sich mit Wasser sämmtlich nicht mischen, muss der Uebertragung in dieselben stets eine Entwässerung der Präparate vorausgehen. Zu dieser wird gewöhnlich absoluter Alkohol benutzt, in dem man die betreffenden Objecte je nach ihrer Dicke wenige Minuten bis mehrere Stunden lang verweilen lässt.

Bei einigermaassen zarten Objecten würde nun übrigens bei der directen Uebertragung aus Wasser in absoluten Alkohol ebenso wie bei derjenigen in Glycerin eine starke Schrumpfung eintreten, und es wurden deshalb verschiedene Entwässerungsmethoden, bei denen eine Schrumpfung möglichst verhindert wird, ersonnen.

Zunächst verfuhr man vielfach in der Weise, dass man die betreffenden Objecte successive in Gemische von Wasser und Alkohol mit zunehmendem Alkoholgehalt übertrug, und zwar kann man z. B. 30, 50, 70, 90 proc. Lösungen von Alkohol vor der Uebertragung in den absoluten Alkohol einschalten.

Der allmähliche Zutritt von Alkohol lässt sich ferner auch dadurch erreichen, dass man zu den im Wasser befindlichen Objecten den Alkohol

aus einem am unteren Ende in ein Capillarrohr ausgezogenen Glasrohr hinzufliessen lässt.

§ 408. Sehr zweckmässig wird die allmähliche Uebertragung in Alkohol auch mit dem von Schulze (I) construierten Entwässerungsgefäss (Fig. 181) ausgeführt. Dasselbe besteht im wesentlichen aus zwei in einander gestellten, oben erweiterten Cylindern, deren untere Oeffnung durch eine Lamelle von dünnem Briefpapier, sogenanntem „Postverdruss", abgeschlossen wird. In den inneren Cylinder werden dann die zu entwässernden Objecte in ganz verdünntem, etwa 10-procentigem Alkohol hineingebracht, in den äusseren Cylinder kommt dagegen eine geringe Menge etwas stärkeren, etwa 50-procentigen Alkohols, und in das die beiden Cylinder umgebende grössere Gefäss absoluter Alkohol, der noch durch eine auf dem Boden des Gefässes befindliche Schicht von geglühtem Kupfervitriol wasserfrei erhalten wird. Bei einer derartigen Beschickung des Apparates wird natürlich durch die Papierlamellen hindurch ein ganz allmählicher Austausch zwischen den drei verschiedenen Flüssigkeiten stattfinden, und es werden die betreffenden Objecte in dieser Weise in der That ganz allmählich in absoluten Alkohol übertragen. Zur völligen Entwässerung sind im allgemeinen 24 Stunden völlig ausreichend: übrigens kann man je nach der Empfindlichkeit der zu entwässernden Objecte die Schnelligkeit des osmotischen Austausches durch Aenderung der Niveaudifferenzen der verschiedenen Flüssigkeiten regulieren. Eine wesentliche Beschleunigung der Entwässerung lässt sich auch dadurch herbeiführen, dass man nur einen Cylinder benutzt, so dass also nur durch eine Membran hindurch ein osmotischer Austausch stattzufinden braucht. In diesem Falle lässt sich die Entwässerung bereits in wenigen Stunden ausführen.

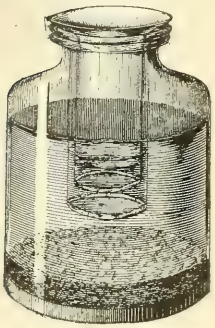


Fig. 181.

§ 409. Von Overton (I, 12) wurde schliesslich die Entwässerung in der Weise ausgeführt, dass er die Objecte zuerst in der § 405 beschriebenen Weise in concentriertes Glycerin und aus diesem direct in absoluten Alkohol übertrug. Bei der Uebertragung aus Glycerin in Alkohol findet in keinem Falle Collaps statt.

§ 410. Nachdem das Wasser in der oben geschilderten Weise durch Alkohol verdrängt ist, kann dann die Uebertragung in eines der oben genannten Aufhellungsmittel stattfinden. Ich will jedoch noch erwähnen, dass speciell das Xylol eine sehr vollständige Entwässerung nothwendig macht, auch kann man bei dickeren Schnitten die Aufhellung dadurch beschleunigen, dass man dieselben zunächst in ein Gemisch von 3 Volum-

theilen Xylol und 1 Theil Alkohol und aus diesem erst in reines Xylol überträgt. In Nelkenöl ist dagegen auch eine geringe Menge Wasser löslich, doch ist auch bei der Benutzung dieses Aufhellungsmittels eine möglichst vollständige Entwässerung anzurathen.

War die Entwässerung eine ungenügende, so werden nach der Uebertragung in das Aufhellungsmittel im Präparat kleine Wassertropfen ausgeschieden, die dasselbe unter Umständen ganz undurchsichtig und unbrauchbar machen können. Makroskopisch lassen sich diese Trübungen am besten erkennen, wenn man das Präparat auf dunklem Grunde beobachtet; es erscheint dann mehr oder weniger weiss und undurchsichtig. Ist dies der Fall, so muss man das betreffende Object nochmals in Alkohol zurückbringen und in diesem unter häufigem Umschwenken so lange belassen, bis es nach abermaliger Uebertragung in das Aufhellungsmittel vollkommen durchsichtig wird.

§ 411. Den bei zarteren Objecten bei der directen Uebertragung in das Aufhellungsmittel eintretenden Collaps kann man zunächst nach den von Overton (I, 12) vorgeschlagenen Methoden in der Weise verhindern, dass man die betreffenden Objecte aus dem Alkohol zunächst in eine 10-proc. Lösung von Nelkenöl oder Xylol in Alkohol bringt und aus dieser den Alkohol dann allmählich verdunsten lässt. Bei Anwendung von Nelkenöl bringt man das etwa in einer kleinen Schale befindliche Object in eine grössere Schale oder einen beliebigen Exsiccator, dessen Boden mit festem Chlorcalcium bedeckt ist. Es wird dann der Alkohol allmählich von dem Chlorcalcium absorbiert und das Object schliesslich vollständig mit Oel durchtränkt.

Um die namentlich bei gefärbten Objecten häufig nachtheilige Wirkung von Alkohol zu vermeiden, kann man die Objecte auch aus dem Alkohol in wasserfreies Chloroform und dann in eine 10-proc. Lösung von Nelkenöl in Chloroform übertragen, aus der man dann das Chloroform, wie bei der soeben beschriebenen Methode den Alkohol, allmählich verdunsten und durch Chlorcalcium absorbieren lässt.

§ 412. Zur Uebertragung in Xylol stellt Overton das die betreffenden Objecte enthaltende mit 10-proc. Xylollösung gefüllte Schälchen in einen Exsiccator, auf dessen Boden sich reines Xylol befindet. Es tritt dann ebenfalls durch Diffusion ein derartiger Austausch zwischen den beiden Flüssigkeiten ein, dass die Präparate schliesslich in nahezu reinem Xylol liegen.

§ 413. Bei einigermaassen kleinen Objecten lässt sich der Collaps bei der Uebertragung in Xylol auch mit Hilfe des von Schultze (I) empfohlenen Senkcylinders vermeiden, der übrigens gleichzeitig auch zur Uebertragung in Canadabalsam dient.

In diesem in Fig. 182 abgebildeten Gefässe werden, wenn es sich um die Uebertragung in Canadabalsam handelt, Xylol-Canadabalsam, Xylol und Alkohol vorsichtig übereinandergeschichtet und in letzteren die zuvor entwässerten Objecte eingetragen. Sind dieselben nicht zu gross, so sinken sie so allmählich zugrunde, dass sie ohne Collaps in den Canadabalsam gelangen. Ist dies geschehen, so lässt man mit Hilfe des seitlich am Senkcylinder angebrachten Hahnes das Xylol und den Alkohol abfliessen und kann dann die Präparate leicht auf den Objectträger übertragen.

Fig. 182.

§ 414. 9. **Canadabalsam.** Der zum Einschluss thierischer und pflanzlicher Präparate zur Zeit wohl fast ausnahmslos benutzte „flüssige Canadabalsam" stellt eine Lösung von Canadabalsam in Xylol, Chloroform oder dergl. dar und erstarrt erst allmählich durch Verdunstung des Lösungsmittels. Zur Benutzung füllt man den Canadabalsam zweckmässig in ein Glas, das die in Fig. 152 dargestellte Form besitzt, so dass es gleichzeitig auch zur Aufnahme eines Glasstabes dienen kann.

Da nun der Canadabalsam sich weder mit Wasser, noch mit Alkohol mischt, muss der Uebertragung in denselben eine Entwässerung und Durchtränkung mit einer mit Canadabalsam mischbaren Substanz vorausgehen. Man benutzt hierzu gewöhnlich Nelkenöl oder Xylol und führt dann die Uebertragung in diese in der in §§ 406—411 geschilderten Weise aus.

Tritt bei der Uebertragung aus Xylol in den flüssigen Canadabalsam ein Collaps ein, so kann man auch zweckmässig den Xylol-Canadabalsam noch weiter mit Xylol verdünnen und diesen allmählich aus dem Präparat verdunsten lassen. Ausserdem lässt sich auch, wie bereits § 412 erwähnt wurde, mit Hilfe des Schultze'schen Senkcylinders ein Collaps verhindern.

Namentlich bei gefärbten Präparaten ist es nun übrigens in vielen Fällen nothwendig, die Uebertragung in Canadabalsam ohne Anwendung von Alkohol auszuführen, da durch diesen viele Farbstoffe vollständig extrahiert werden. Namentlich bei zarten Mikrotomschnitten kann man nun diese Uebertragung in der Weise ausführen, dass man dieselben dadurch entwässert, dass man sie an der Luft austrocknen lässt. Sie werden dann direct mit Xylol durchtränkt und in Canadabalsam eingeschlossen.

§ 415. Ferner kann man zur Entwässerung auch Anilin benutzen. Die Präparate werden dann direct aus dem Wasser in Anilin gebracht und nachdem sie von diesem durchdrungen, in Xylol und aus diesem in Xylol-Canadabalsam übertragen. Da Kaliumhydroxyd nach Suchanek

(I) in Anilin ganz unlöslich ist, kann man das gebrauchte Anilin zweckmässig durch Eintragen einiger Stücke von der genannten Substanz entwässern.

§ 416. In ähnlicher Weise wie Anilin kann man ferner auch Phenol benutzen, das man durch gelindes Erwärmen oder durch Zusatz von möglichst wenig Wasser verflüssigt hat. Durch dasselbe werden die Schnitte in kurzer Zeit genügend entwässert, um direct in Nelkenöl oder Xylol übertragen werden zu können. Um bei dieser Uebertragung Collaps zu vermeiden, bringt Klebahn (I, 419) die betreffenden Objecte zunächst in verdünntes Glycerin, das er sich an der Luft concentrieren lässt, setzt dann Phenol und später allmählich Nelkenöl (oder Creosot) zu; aus letzterem überträgt er in Canadabalsam.

§ 417. 10. **Dammarlack.** Der Dammarlack wird zur Benutzung als Aufhellungsmittel gewöhnlich in gleichen Theilen Benzol und Terpentinöl gelöst. Der Uebertragung in dasselbe muss eine Entwässerung (cf. § 407) und eine Durchtränkung mit Nelkenöl, Xylol oder dergl. (cf. § 410) vorausgehen.

Die aufhellende Wirkung des Dammarlacks ist, dem geringeren Brechungsindex desselben entsprechend, geringer als beim Canadabalsam.

§ 418. 11. **Venetianisches Terpentin.** Das namentlich von Vosseler (I) und Pfeiffer v. Wellheim (I) empfohlene venetianische Terpentin kann man in der Weise zur mikroskopischen Benutzung brauchbar machen, dass man das aus der Apotheke bezogene Harz mit dem gleichen Volum Alkohol verdünnt, dann das Gemisch auf dem Wasserbade erwärmt, nach energischem Umschütteln filtriert und eventuell auf dem Wasserbade noch etwas eindickt.

Da das venetianische Terpentin sich bereits mit 90-proc. Alkohol ohne Trübung mischt, so können die Präparate ohne vorherige Aufhellung mit Nelkenöl oder dergl. direct aus dem Alkohol in dasselbe übertragen werden; auch ist es nicht einmal nothwendig, dieselben vorher vollständig durch absoluten Alkohol zu entwässern.

Bei empfindlichen Objecten lässt sich nach Pfeiffer v. Wellheim (I, 30) ein Collaps dadurch vermeiden, dass man dieselben zunächst in ein Gemisch von 10 Theilen Terpentin und 100 Theilen Alkohol bringt und dann über wasserfreiem Chlorcalcium eine allmähliche Concentrierung des Terpentins eintreten lässt. Die hierbei zu benutzenden Schalen kann man, um ein Aufsteigen der verdünnten Terpentinlösung an den Wänden derselben zu verhindern, durch entsprechend tiefes Eintauchen in geschmolzenes Paraffin mit einem Paraffinrande versehen.

In der aufhellenden Wirkung steht das venetianische Terpentin etwa in der Mitte zwischen dem Glycerin und dem Dammarlack. Dasselbe ist auch zum Conservieren von Hämatoxylin- und Carmin-Präparaten sehr geeignet.

c) Die Quellung.

§ 419. Die meisten Bestandtheile des thierischen und pflanzlichen Organismus sind bekanntlich einer mehr oder weniger grossen Wasseraufnahme, Imbitition oder Quellung fähig. Die Quellungsfähigkeit ist aber je nach dem umgebenden Medium sehr verschieden und während z. B. Alkohol bei den meisten Zellbestandtheilen die Stärke der Quellung vermindert, „wasserentziehend" wirkt, haben andere Stoffe wie z. B. Säuren und Alkalien vielfach gerade die entgegengesetzte Wirkung und können die Quellungsfähigkeit je nach ihrer Concentration soweit erhöhen, dass schliesslich vollständige Lösung eintritt.

Findet nun bei der mit starker Quellung verbundenen Volumvergrösserung keine Zerstörung der feineren Structur des quellenden Körpers statt, so können an diesem unter Umständen verschiedene Structurverhältnisse viel deutlicher sichtbar sein, als an den ungequollenen Körpern. So wurden denn auch die verschiedenen Quellungsmittel namentlich in der pflanzlichen Histologie häufig zum Studium der feineren Structurverhältnisse der verschiedenen Zellbestandtheile angewandt. Je nach der chemischen Natur der zu untersuchenden Körper werden nun aber natürlich sehr verschiedene Quellungsmittel zur Anwendung gelangen können.

§ 420. Der ausgedehntesten Anwendung ist in dieser Hinsicht wohl die Kalilauge fähig, die bei den Stärkekörnern, Zellmembranen und proteïnartigen Verbindungen eine je nach der Concentration geringere oder schwächere Quellung hervorbringt. Zum Studium der pflanzlichen Zellmembranen sind ferner auch Schwefelsäure, Chromsäure und Kupferoxydammoniak sehr geeignet. Diese bewirken bei den meisten Membranen in concentriertem Zustande vollständige Lösung, in verdünnterem aber mehr oder weniger starke Quellung, bei der z. B. die Schichtung und Streifung häufig viel deutlicher ist, als bei den ungequollenen Objecten. Von Dippel (II) wurde auch eine Lösung von Quecksilberjodid in Jodkaliumlösung als Quellungsmittel für Zellmembranen empfohlen.

d) Die Maceration.

§ 421. Sowohl die thierischen als auch die pflanzlichen Zellgewebe lassen sich durch Einwirkung gewisser Reagentien derartig verändern, dass sie direct in die einzelnen Zellen zerfallen oder wenigstens durch Zerzupfen oder Schütteln leicht in dieselben zerlegt werden können. Die zu dieser „Isolierung" der Zellen angewandten Reagentien werden nun gewöhnlich als Macerationsmittel bezeichnet. Die Wirkung derselben beruht offenbar darauf, dass durch dieselben die die Zellen verbindende Intercellularsubstanz oder Mittellamelle entweder ganz aufgelöst oder wenigstens bedeutend erweicht wird, während die übrigen Zellbestandtheile

mehr oder weniger unverändert bleiben. Da sich nun die thierischen und pflanzlichen Organe in erster Linie durch die verschiedene chemische Constitution der Zellmembranen und der intercellularen Bildungen unterscheiden, so kann es nicht auffallen, dass sie sich auch gegen Macerationsmittel sehr verschiedenartig verhalten, und es sollen deshalb auch die für thierische und pflanzliche Zellen zu diesem Zwecke angewandten Reagentien gesondert besprochen werden.

1. Pflanzliche Objecte.

§ 422. Manche pflanzliche Objecte können zwar bereits durch Kochen in Wasser oder verdünnten Säuren vollständig maceriert werden; im allgemeinen sind zu diesem Zwecke aber stärker wirkende Reagentien vorzuziehen und zwar sind bisher namentlich die folgenden angewandt worden:

§ 423. 1. Das Schulze'sche Macerationsgemisch. Dasselbe besteht aus einem Gemisch von Salpetersäure und chlorsaurem Kali. Das letztere wird einfach als festes Salz in die Salpetersäure gebracht, wobei es auf Einhaltung eines festen Verhältnisses nicht ankommt. Die zu macerierenden Pflanzentheile werden in diesem Gemisch erhitzt, bis lebhafte Blasenbildung eintritt. Dann lässt man das Reagens noch einige Minuten einwirken, im allgemeinen bis die Stücke völlig weiss geworden sind, und überträgt sodann in eine grosse Menge Wasser. In diesem können die einzelnen Elemente dann entweder durch Zerzupfen oder durch Schütteln isoliert werden.

Die Erhitzung des Macerationsgemisches ist wegen der Entwicklung schädlicher Gase am besten unter dem Abzuge, jedenfalls aber nicht in der Nähe des Mikroskops auszuführen.

§ 424. 2. Chromsäure. Dieselbe kann namentlich bei Schnitten zur Isolierung der Zellen benutzt werden. Man bringt diese zweckmässig in concentrierte wässerige Chromsäurelösung und wäscht nach $^1/_2$—5 Minuten langer Einwirkung mit viel Wasser aus.

§ 425. 3. Kalilauge. Ist namentlich bei dünnwandigen Geweben zu verwenden. Dieselben werden zweckmässig einige Minuten in einer etwa 50% Kalihydrat enthaltenden Lösung gekocht und dann in Wasser übertragen, in dem sie sich leicht zerzupfen lassen.

§ 426. 4. Glycerin und Schwefelsäure. Nach der von A. Fischer (I) herrührenden Methode werden Schnitte oder isolierte Gefässbündel auf dem Objectträger in einen Tropfen Glycerin gebracht und mit Deckglas bedeckt. Dann wird an dem Rande des Deckglases ein Tropfen Schwefelsäure zugesetzt und ganz kurze Zeit, höchstens eine Minute lang, zum Sieden erhitzt. Durch einen Druck auf das Deckglas lässt

sich dann leicht eine vollständige Isolierung der einzelnen Zellen herbeiführen. Diese Methode ist für weiche Pflanzentheile sehr geeignet, für Holz und dergleichen ist sie dagegen nicht zu verwenden.

2. Thierische Objecte.

§ 427. Von den zahlreichen zur Isolierung thierischer Zellen angewandten Macerationsmitteln sollen an dieser Stelle nur einige wenige, die zur Zeit am meisten angewendet werden dürften, specieller besprochen werden. Im übrigen muss in dieser Beziehung auf die bereits sehr umfangreiche Specialliteratur verwiesen werden.

§ 428. 1. Alkohol. Zur Isolierung von Epithelien wird namentlich Ranvier's sogenannter Drittelalkohol empfohlen, der auf 28 Theile Alkohol 72 Theile Wasser enthält. Nach 5—24-stündiger Einwirkung gelingt die Isolierung durch Schütteln oder Zerzupfen.

§ 429. 2. Kalilauge. Die frisch bereitete 32·5-proc. wässerige Lösung wird namentlich zur Isolierung der Muskelfasern benutzt. Nach 20—60 Minuten langem Aufenthalte in dieser Lösung werden die isolierten Elemente direct in derselben untersucht, da eine Uebertragung in Wasser eine Zerstörung der Objecte bewirken würde. Für Haare empfiehlt Schiefferdecker (V, 156) zur Isolierung, 4·6-proc. Kalilauge 3—4 Tage einwirken zu lassen, für Nägel 32·5—35-proc. Kalilauge und 3- bis 5-stündige Einwirkung.

§ 430. 3. Chlorsaures Kali und Salpetersäure. Nach Stöhr (I, 12) kann man eine gute Isolierung erhalten, indem man Organstücke für ca. 14 Stunden in ein Gemisch von 20 cm^3 reiner Salpetersäure und ca. 5 *gr* chlorsaurem Kali bringt, dann in 20 cm^3 destillierten Wassers überträgt und nach einer Stunde oder beliebig längerer Zeit in verdünntem Glycerin zerzupft.

§ 431. 4. Salzsäure. Dieselbe wird von Stöhr (I) speciell für Drüsencanälchen empfohlen. Nach 10—20-stündigem Verweilen in der Salzsäure werden die Stücke in destilliertem Wasser gut ausgewaschen. Die Isolierung geschieht in verdünntem Glycerin.

§ 432. 5. Methylmixtur. Dieselbe wird durch Mischen von 1 Vol. Methylalkohol, 10 Vol. Glycerin und 20 Vol. Wasser hergestsellt und liefert nach Schiefferdecker (V, 155) namentlich bei der Maceration des Centralnervensystems und der Retina gute Dienste.

e) Die Fixierung.

§ 433. Da wir bei der Untersuchung der höheren Pflanzen und Thiere fast ausschliesslich auf Schnitte angewiesen sind, da ferner die beim Schneiden aus ihrer natürlichen Umgebung herausgerissenen Organ-

theile im allgemeinen in ihrer Lebensfähigkeit umsomehr beeinträchtigt werden, je feiner die betreffenden Schnitte sind, so kann darüber kein Zweifel bestehen, dass die Untersuchung derartiger Schnitte über die wahre Structur der lebenden Zellen in vielen Fällen keinen Aufschluss zu geben vermag. Wie es nun aber durch gewisse Conservierungsflüssigkeiten gelingt, Pflanzen und Thiere nach dem Tode so zu erhalten, dass sie in ihrer äusseren Form und Farbe, sowie in ihren sonstigen makroskopisch erkennbaren Eigenschaften mit den lebenden Organismen mehr oder weniger vollständig übereinstimmen, ebenso ist es auch möglich, die mikroskopisch sichtbare Organisation der thierischen und pflanzlichen Zellen in sehr weitgehendem Grade so zu „fixieren", dass sie nach dem Tode der Zellen sichtbar bleiben und auch bei nachherigem Schneiden, Einbetten, Färben etc. nicht verändert werden.

§ 434. Im allgemeinen beruht nun jedenfalls die Wirkungsweise eines Fixierungsmittels darauf, dass die betreffenden Inhaltskörper der Zelle durch dasselbe in eine in Wasser unlösliche Verbindung übergeführt werden, und zwar wird die Fixierung um so vollkommener sein, je geringere Volum- und Gestaltsveränderungen der betreffende Körper bei dieser Metamorphose erleidet. Ueber den eigentlichen Mechanismus der Fixierung sind wir nun aber noch fast gänzlich im unklaren; nur soviel kann wohl als höchst wahrscheinlich gelten, dass die Fixierung in vielen Fällen bald nur auf einer physikalischen, bald nur auf einer chemischen Metamorphose beruht, häufig aber auch durch eine chemische Bindung zwischen dem Fixierungsmittel und dem zu fixierenden Inhaltskörper bewirkt wird.

Ferner ist zu beachten, dass es nicht möglich ist, mit Hilfe eines einzigen Fixierungsmittels alle Bestandtheile der Zelle so zu erhalten, wie sie sich innerhalb des lebenden Organismus vorfinden. Vielmehr muss man die Fixierungsmethode je nach der Zusammensetzung der zu untersuchenden Körper variieren, und es sind auch gerade die zuverlässigsten Fixierungsmethoden nur für ganz bestimmte Inhaltskörper anzuwenden.

Bei unserer Unkenntnis über den eigentlichen Chemismus der Fixierung ist es denn auch zur Zeit nicht möglich, bei der Ausarbeitung neuer Fixierungsmethoden von theoretischen chemischen Gesichtspunkten auszugehen. Vielmehr ist man in dieser Beziehung auf ein Herumprobieren mit den verschiedenartigsten anorganischen und organischen Verbindungen angewiesen, und es sind auch in der That fast alle zur Zeit üblichen Fixierungsmethoden in dieser Weise ermittelt worden.

§ 435. Der Umstand, dass bei den verschiedenen Fixierungsmethoden unstreitig sehr verschiedenartige Metamorphosen der zu fixierenden Objecte eintreten, macht es nun aber ferner verständlich, dass die betreffenden Inhaltskörper sich nach der Fixierung je nach der Constitution des

angewandten Fixierungsmittels gegen chemische Reagentien, und namentlich auch gegen Farbstoffe, sehr verschiedenartig verhalten. So ist es ja auch eine bekannte Thatsache, dass man von dem gleichen Objecte bei der gleichen Färbung je nach der Fixierung sehr verschiedene Präparate erhält.

§ 436. Besonders ist nun aber zu beachten, dass durch die verschiedenen Fixierungsmittel natürlich auch die verschiedenartigsten Kunstproducte erzeugt werden können. So können dieselben z. B. in einer vollständig homogenen Lösung körnige Fällungen erzeugen, die, wenn sie in einem mikroskopischen Präparat auftreten, sehr leicht für dem lebenden Organismus angehörende Structuren gehalten werden können. Um sich in dieser Beziehung vor Täuschungen zu schützen, wird man jedenfalls gut thun, in erster Linie die Zuverlässigkeit der angewandten Fixierungsmittel an solchen Objecten zu erproben, bei denen eine Vergleichung mit unzweifelhaft lebenden Zellen möglich ist.

Zu beachten ist ferner in dieser Beziehung, dass sich verschiedenartige Objecte gegen das gleiche Fixierungsmittel sehr verschieden verhalten können, und es ist deshalb jedenfalls anzuempfehlen, die Controle durch Beobachtung an lebenden Objecten stets an einer möglichst grossen Zahl möglichst verschiedenartiger Objecte auszuführen. Ausserdem wird natürlich die vitale Existenz einer an fixierten Präparaten beobachteten Structur umso wahrscheinlicher, je grösser die Zahl der verschiedenartigen Fixierungsmittel ist, die dieselbe in der gleichen Weise sichtbar machen. Schliesslich lassen sich aus dem morphologischen Verhalten und namentlich auch aus der Entwicklungsgeschichte fraglicher Körper für die Beurtheilung derselben gewisse Anhaltspunkte gewinnen.

In der That besitzen wir denn auch zur Zeit speciell für die verschiedenen Elemente des Zellkernes eine Anzahl von Fixierungsmethoden, die einen hohen Grad von Zuverlässigkeit beanspruchen können, und es kann auch nicht mehr in Frage gestellt werden, dass die Fortschritte, die die Zellenlehre in den letzten Decennien gemacht hat, in erster Linie den Fixierungs- und Tinctionsmethoden zu danken sind. Es würde nun aber entschieden zu weit führen, wenn ich an dieser Stelle alle bisher mit einigem Erfolg angewandten Fixierungsmethoden aufzählen wollte; ich will mich deshalb auch auf die Besprechung einiger allgemeiner, auf die Methodik der Fixierung bezüglicher Vorschriften beschränken.

§ 437. In den meisten Fällen wird die Fixierung durch Uebertragung in irgend eine die Organe möglichst schnell zum Absterben bringende Flüssigkeit bewirkt, und wollen wir denn auch zunächst auf die bei diesem Verfahren anzuwendende Methodik etwas näher eingehen; einige abweichende Fixierungsmethoden sollen dagegen am Schluss dieses Abschnittes besprochen werden.

1. Die Fixierung durch Flüssigkeiten.

§ 438. Bei der Fixierung durch schnell tödtende Flüssigkeiten ist natürlich vor allem darauf zu achten, dass die betreffenden Organe in möglichst frischem und lebenskräftigem Zustande in die betreffende Fixierungsflüssigkeit gelangen. Objecte, die schon vorher durch mehr oder weniger vollständiges Absterben in ihrer inneren Structur verändert sind, können ja natürlich nach der Fixierung nicht mehr die Structur des lebenden Organismus zeigen. Wenn es somit nicht möglich ist, direct den lebenden Organismus in toto in die Fixierungsflüssigkeit zu bringen, so wird man wenigstens die zur Untersuchung bestimmten Theile desselben möglichst bald nach der Loslösung in das Fixierungsmittel zu übertragen haben. Uebrigens sind in dieser Beziehung die Pflanzen bei ihrer weitgehenden Selbständigkeit der einzelnen Zellen viel weniger empfindlich als die höheren Thiere.

Sodann möchte ich an dieser Stelle noch besonders darauf hinweisen, dass die zu fixierenden Objecte im allgemeinen nur an ihrer Oberfläche mit der Fixierungsflüssigkeit in Berührung kommen, während diese nach dem Inneren derselben nur durch Diffusion gelangen kann. Es wird somit das Fixierungsmittel zu den inneren Partien eines grösseren Objectes nur ganz allmählich zutreten und da die Fixierung im allgemeinen umso vollständiger stattfindet, je schneller das Fixierungsmittel zutritt, so kann somit bei dem gleichen Objecte die Güte der Fixierung in den verschiedenen Partien eine sehr verschiedenartige sein. Im allgemeinen werden aber bei dem Vorhandensein derartiger Verschiedenheiten die mehr in der Nähe der Schnittfläche gelegenen Zellen als vollkommener fixiert angesehen werden können.

Ferner ergibt sich aber aus dem Obigen die für die Praxis wichtige Regel, dass man in die Fixierungsflüssigkeiten zweckmässig immer möglichst kleine Stücke einträgt.

§ 439. Sodann hat man aber auch dafür zu sorgen, dass der Zutritt des Fixierungsmittels zu den zu fixierenden Objecten möglichst beschleunigt wird. Bei pflanzlichen Objecten bieten nun namentlich die für die meisten Fixierungsmittel ganz oder fast ganz impermeabelen verkorkten Membranen (Cuticula, Kork etc.) ein Hindernis für das Eindringen des Fixierungsmittels. Diese sind deshalb auch so weit wie möglich ganz zu entfernen; wenn dies unthunlich, ist wenigstens durch Einschneiden der verkorkten Membranen etc. für Vergrösserung der Schnittflächen zu sorgen.

Bei luftreichen Geweben, wie z. B. den mit grossen Intercellularen versehenen Blättern und grünen Stengeltheilen, kann man ferner den Zutritt des Fixierungsmittels dadurch beschleunigen, dass man sie mit

diesem vollständig injiciert. Es kann dies z. B. in der Weise geschehen, dass man die betreffenden Stücke, nachdem man sie am Boden einer die betreffende Flüssigkeit enthaltenden Schale mit Fliesspapier festgeklemmt hat, mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe evacuiert. Beim nachherigen Luftzutritt wird dann die Fixierungsflüssigkeit die Intercellularen der betreffenden Objecte durchdringen und sich von diesen aus schnell in denselben ausbreiten.

§ 440. Namentlich bei Fixierungsmitteln von wenig energischer Wirkung, wie z. B. Kaliumbichromat, wird man ferner darauf zu achten haben, dass man nicht zu geringe Mengen Flüssigkeit verwendet. Dieselben werden wohl im allgemeinen das Volumen der zu fixierenden Stücke mindestens um das 50fache übertreffen müssen.

§ 441. Bei Fixierungsflüssigkeiten, die, wie z. B. Alkohol, specifisch leichter sind als Wasser, wird man gut thun, die zu fixierenden Objecte nicht einfach auf den Boden des die Fixierungsflüssigkeit enthaltenden Gefässes zu legen, weil sich dann infolge von Wasseraustritt aus den Objecten in deren Umgebung eine sehr wasserreiche Schicht bilden könnte, die sich mit der darüber stehenden Fixierungsflüssigkeit nur sehr allmählich durch Diffusion vermischen würde. Man bringt in derartigen Fällen zweckmässig auf den Boden des Gefässes einen Bausch von Watte oder Glaswolle und erst auf diesen die zu fixierenden Objecte oder man hängt dieselben so auf, dass sie sich dicht unter der Oberfläche der Flüssigkeit befinden.

§ 442. Bezüglich der zur vollständigen Fixierung erforderlichen Zeitdauer lassen sich keine allgemeinen Vorschriften aufstellen. Während nämlich manche Reagentien, wie z. B. Osmiumsäure, eine fast momentane Tödtung und Fixierung bewirken und auch nach sehr kurzer Zeit wieder ausgewaschen werden können, erfordern andere Fixierungsmittel eine tagelange, zum Theil sogar wochenlange Einwirkung. Eine Beschleunigung derselben lässt sich vielfach auch durch Temperaturerhöhung erzielen. So wurden namentlich auch zum Sieden erhitzte Fixierungsflüssigkeiten vielfach mit gutem Erfolg angewandt.

§ 443. Das vor der Färbung bei den meisten Fixierungsmitteln nothwendige Auswaschen der Objecte wird natürlich je nach der chemischen Natur des Fixierungsmittels in verschiedenen Medien stattfinden müssen. Im allgemeinen wird man jedoch gut thun, die in Wasser löslichen Fixierungsmittel in fliessendem Wasser auszuwaschen. Man kann hierbei zweckmässig die von Steinach (!) empfohlenen und durch Siebert (Wien) und Grübler (Leipzig) zu beziehenden Glassiebe (cf. Fig. 183) benutzen, die in ihrem Boden kleine nach unten weiter werdende Oeffnungen besitzen, durch die die zu fixierenden Objecte, sobald sie nicht allzuklein sind, nicht hindurchzutreten vermögen.

Sehr gut hat sich zu diesem Zwecke auch der in Fig. 184 abgebildete Auswaschapparat bewährt. Derselbe wurde von mir schon an einem anderen Orte beschrieben und „besteht im wesentlichen aus dem mit 9 kleinen Hähnen versehenen Messingrohr a und dem zur Aufnahme der auszuwaschenden Objecte dienenden Zinkgefässe d. Da jedoch die kleinen Hähne den vollen Druck der Wasserleitung nicht auszuhalten vermögen, geschieht der volle Abschluss und die gröbere Regulierung des Wasserstromes durch den grossen Hahn (b), der mit Hilfe eines T-Rohres bei c leicht an jedem Wasserleitungshahne seitlich eingeschaltet werden kann. Bei dem Zinkgefässe dient der grössere Raum d zur Aufnahme der Glassiebe; soll das Wasser aus demselben schnell ablaufen, so wird der Quetschhahn g geöffnet, so dass das Wasser durch das mit dem Boden des Zinkgefässes communicierende Rohr f abfliesst; soll das Wasser dagegen langsamer abfliessen, so wird der Quetschhahn g geschlossen und das Wasser kann dann nur durch das Rohr e ab-

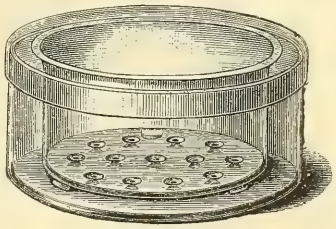


Fig. 183.

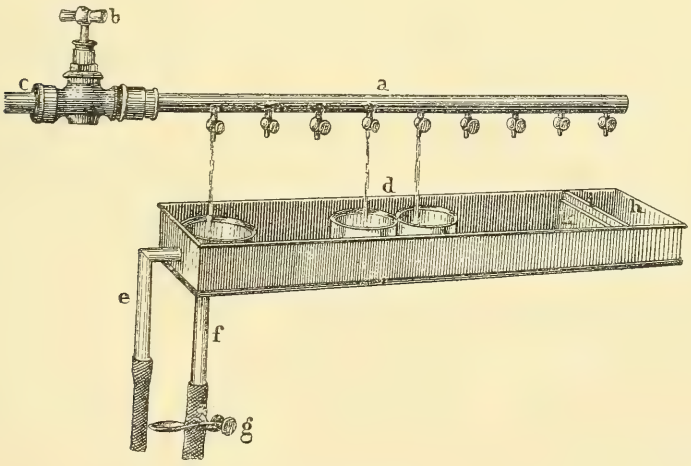


Fig. 184.

laufen, dessen Mündung von dem Boden des Gefässes 15 *mm* entfernt ist, so dass also das Wasser dann in dem Zinkgefässe 15 *mm* hoch steht“ (cf. Zimmermann, I, 24). Der kleine Raum h auf der rechten Seite des Zinkgefässes dient dagegen, wie alsbald noch näher besprochen werden soll, zum Auswaschen von auf dem Objectträger festgeklebten Mikrotomschnitten.

2. Die Fixierung durch Dämpfe.

§ 444. Namentlich bei kleinen Objecten, speciell bei Organismen, die zuvor im hängenden Tropfen cultiviert waren, kann man vielfach Dämpfe mit Vortheil zur Fixierung verwenden. Man kann dies z. B. in der Weise ausführen, dass man das Deckgläschen, welches die zu fixierenden Objecte auf der Unterseite im hängenden Tropfen enthält, in der gleichen Orientierung auf den Hals einer verdünnte Osmiumsäure enthaltenden Flasche bringt. Es wird hierdurch schon in geringer Zeit eine sehr vollständige Fixierung der betreffenden Organismen bewirkt.

In ähnlicher Weise kann man ferner auch Joddämpfe verwenden, die man z. B. aus einem erhitzten Reagenzglas auf das betreffende Präparat herabfliessen lässt. Will man die in dieser Weise fixierten Objecte nachher färben, so genügt es zur Entfernung des Jods die Präparate gelinde zu erwärmen, etwa 2—5 Minuten auf dem Paraffinofen.

3. Die Fixierung durch Erhitzen.

§ 445. Bei Bacterien und verwandten Mikroorganismen führt man die Fixierung häufig in der Weise aus, dass man dieselben zunächst auf dem Deckglas oder Objectträger antrocknen lässt und dann durch gelindes Erwärmen abtödtet. Bei den auf dem Deckglase festgeklebten Bacterien soll dies Erhitzen in der Weise ausgeführt werden, dass man das betreffende Deckglas mit der Bacterienseite nach oben dreimal durch die nicht leuchtende Flamme eines Bunsenbrenners zieht, und zwar soll dies ungefähr mit einer solchen Geschwindigkeit geschehen, als die Hand gebraucht, um einen Kreis von 1 *m* Durchmesser in 1 Secunde zurückzulegen. Die Bacterien haften dann so fest an dem Deckgläschen, dass man dieses sogar in siedende Tinctionsmittel eintauchen kann, ohne eine Loslösung befürchten zu müssen.

§ 446. Es kann übrigens nicht bezweifelt werden, dass bei dieser Art der Fixierung die feinere Constitution des Plasmakörpers nur sehr unvollkommen erhalten bleibt. In der That sind ja auch unsere Kenntnisse von dem feineren Aufbau des Bacterien-Protoplasten noch sehr mangelhafte.

§ 447. Ausserdem wurden nun aber auch von verschiedenen Autoren (cf. Schiefferdecker V, 146) direct die lebenden Objecte durch Erwärmen in Wasser oder einer indifferenten Lösung fixiert, und zwar scheint im allgemeinen ein ganz kurzes Eintauchen in die kochende Lösung die besten Resultate zu liefern. Natürlich ist bei einer solchen Fixierung ein nachheriges Auswaschen überflüssig; auch sollen die so behandelten Objecte gut färbbar sein. Immerhin hat diese Methode bisher nur eine sehr beschränkte Anwendung gefunden.

4. Die Fixierung durch Austrocknen bei niederer Temperatur.

§ 448. Nach der von Altmann (I) ersonnenen Methode werden die zu untersuchenden Objecte plötzlich so weit abgekühlt, dass sie vollkommen durchfrieren und dann bei einer so niederen Temperatur, dass kein Aufthauen eintritt, so lange über Schwefelsäure im Vacuum gehalten, bis sie alles Wasser verloren haben. Die in dieser Weise getrockneten Objecte können dann im Vacuum direct mit geschmolzenem Paraffin durchtränkt werden, und es gelang so, Mikrotomschnitte zu erhalten, von denen, ohne dass sie zuvor mit Fixierungsflüssigkeiten behandelt wären, die zartesten Structurverhältnisse erhalten waren; es war ferner auch möglich, an den in dieser Weise von ein und demselben Objecte erhaltenen Mikrotomschnitten die Wirkungen der verschiedenen Fixierungs- und Tinctionsmittel auszuprobieren. Kann somit auch nicht bezweifelt werden, dass diese Methode sehr wertvolle Resultate verspricht, so stehen doch der allgemeineren Anwendung derselben noch sehr erhebliche technische Schwierigkeiten entgegen. So ist es ja vor allem nicht leicht, die zu untersuchenden Objecte in der erforderlichen Weise tagelang bei einer —20° nicht übersteigenden Temperatur zu halten.

f) Die Härtung.

§ 449. Der Zweck der Härtung ist es in erster Linie, den zu schneidenden Objecten die zum Schneiden nöthige Härte zu verleihen. Dieselbe wird also namentlich bei weichen Objecten und bei solchen, die durch die Fixierung ihre Schneidfähigkeit verloren haben, in Anwendung kommen müssen.

Bei pflanzlichen Objecten ist nun wohl zu diesem Zwecke bisher ausschliesslich Alkohol angewandt, in dem sich die zu schneidenden Objecte auch beliebig lange conservieren lassen. Ist zu befürchten, dass durch plötzliche Uebertragung in absoluten Alkohol eine störende Schrumpfung der Gewebe eintritt, so verwendet man zweckmässig eine der in § 407 geschilderten Methoden, durch die dieser Uebergang ganz allmählich bewirkt wird.

In vielen Fällen kann man auch die Schnittfähigkeit der in Alkohol gehärteten Objecte dadurch erhöhen, dass man sie etwa 24 Stunden vor dem Schneiden in ein Gemisch von gleichen Theilen Alkohol und Glycerin überträgt. Es wird hierdurch auch das schnelle Austrocknen während des Schneidens verhindert.

§ 450. Auch bei thierischen Objecten ist als Härtungsmittel jedenfalls in erster Linie der Alkohol zu nennen. Ausserdem hat man namentlich noch durch Austrocknenlassen und durch längeres Einlegen in Lösungen von chromsauren Salzen eine Erhöhung der Schnittfähigkeit

bewirkt. Zu beachten ist übrigens noch, dass die Nachbehandlung der Schnitte mit Alkohol, die ja in erster Linie durch Wasserentziehung die Härte der betreffenden Objecte erhöht, ausserdem auch auf die plasmatischen Structuren vielfach von Einfluss sein kann, insofern sie u. a. die Färbbarkeit derselben modificiert. Im allgemeinen wird durch diese Nachbehandlung jedenfalls die scharf differenzierte Färbung bestimmter Inhaltskörper erleichtert; doch ist die Härtung keineswegs für das Gelingen sämmtlicher Tinctionsmethoden erforderlich.

g) Die Tinction.

§ 451. Durch die verschiedenen Tinctionsmethoden werden die einzelnen Zellbestandtheile, die ja zumeist von Natur farblos sind und sich auch zum Theil nur durch sehr wenig abweichende Lichtbrechung von ihrer Umgebung unterscheiden, derartig gefärbt, dass sie sich dann von den übrigen Theilen der betreffenden Zellen mit Sicherheit unterscheiden lassen. Eine Tinction wird somit als am besten gelungen zu betrachten sein, wenn lediglich die zu untersuchenden Körper intensiv gefärbt sind, alle anderen Zellbestandtheile aber ganz farblos oder anders gefärbt erscheinen. Man bezeichnet eine solche Färbung als „differenzierte" Färbung, im Gegensatz zu der „diffusen", bei der alle Zellbestandtheile annähernd oder vollständig gleich stark gefärbt sind.

Ueber die bei der Tinction sich abspielenden Processe sind wir noch so ziemlich ganz im Unklaren; es ist noch nicht einmal entschieden, ob es sich dabei mehr um physikalische oder chemische Vorgänge handelt. So sind denn auch die zum Nachweis der verschiedenen Zellbestandtheile dienenden Tinctionsmethoden lediglich durch Herumprobieren mit den verschiedenartigsten Stoffen ermittelt worden.

Besonders ist jedoch in dieser Hinsicht hervorzuheben, dass das Ergebnis einer Tinctionsmethode in hohem Grade von der Vorbehandlung (Fixierung, Härtung etc.), die das betreffende Object erfahren hat, abhängig ist. Ausserdem ist es begreiflicherweise von grosser Bedeutung, mit welchen Reagentien die betreffenden Präparate nach dem Herausnehmen aus dem Fixierungsmittel behandelt werden. In manchen Fällen werden auch die zu färbenden Präparate vor dem Zusatz des Tinctionsmittels mit an sich farblosen Lösungen durchtränkt, die wie Beizen ein Niederschlagen des Farbstoffes in bestimmten Zellbestandtheilen bewirken.

§ 452. Ebenso ist nun übrigens auch die Nachbehandlung der aus dem Tinctionsmittel herausgenommenen Schnitte von grosser Bedeutung. So wird in sehr vielen Fällen die zunächst ganz diffuse „Ueberfärbung" der Schnitte durch Uebertragung in Lösungen, die

eine partielle Entfärbung bewirken, differenziert. In manchen Fällen bewirken aber auch die zur Nachbehandlung bestimmten Lösungen complicierte Umsetzungen des Tinctionsmittels.

Es soll nun an dieser Stelle nicht der Versuch gemacht werden, die sämmtlichen zu irgend einem Zwecke mehr oder weniger brauchbaren Tinctionsmethoden, deren Zahl sich namentlich in den letzten Jahren ganz ungeheuer vermehrt hat, zusammenzustellen. Vielmehr will ich mich an dieser Stelle auf eine kurze Besprechung der allgemeinen Methodik der Tinction beschränken, und zwar wollen wir zuerst die Färbung der lebenden Objecte und dann diejenige der fixierten ins Auge fassen.

1. Die Lebendfärbung.

§ 453. Die directe Färbung der lebenden Objecte wurde namentlich in den letzten Jahren bei der Untersuchung von Thieren und Pflanzen mehrfach mit Erfolg angewandt.

Bei pflanzlichen Objecten kann man nun zu diesem Zwecke in der Weise verfahren, dass man entweder die ganzen Organismen oder Schnitte derselben in die Farblösung bringt und in dieser bis zur Erreichung der gewünschten Färbung belässt. Soll aber während dieser Zeit kein Absterben der betreffenden Objecte stattfinden, so dürfen die benutzten Farbstoffe natürlich nicht giftig sein, und es ist auch aus diesem Grunde in den meisten Fällen nothwendig, sehr verdünnte Farblösungen zur Lebendfärbung zu verwenden, da speciell die zu diesem Zwecke dienenden Anilinfarben, wie Methylenblau, Gentianaviolett, Fuchsin u. a. bei stärkerer Concentration die Lebensfähigkeit der pflanzlichen Zellen beeinträchtigen Damit nun aber aus diesen verdünnten Lösungen eine auch mikroskopisch sichtbare Speicherung des Farbstoffes stattfinden kann, ist es vor allem nothwendig, kleine Mengen von den zu färbenden Objecten in relativ grosse Mengen der betreffenden Farbstofflösung zu übertragen. Ausserdem lässt sich natürlich auch durch Bewegung der Flüssigkeit die Schnelligkeit der Färbung beschleunigen.

In ähnlicher Weise wurde nun auch bei niederen Thieren und bei Larven und Embryonen durch directes Eintragen in die Farbstofflösungen eine Lebendfärbung erzielt. Bei höheren Thieren werden die Farbstoffe dagegen gewöhnlich durch Injection in die Blutbahn eingeführt und dadurch im Organismus verbreitet.

2. Die Tinction fixierter Objecte.

§ 454. Die im allgemeinen nach gründlichem Auswaschen des Fixierungsmittels auszuführende Tinction kann entweder in der Weise geschehen, dass grössere Stücke von dem zu untersuchenden Objecte in

toto in die Farblösung gebracht werden, um erst nach der Färbung in Schnitte zerlegt zu werden, oder es werden erst die freihändig oder mit dem Mikrotom angefertigten Schnitte gefärbt.

Bei der erstgenannten Methode, der „Durchfärbung“ oder „Stückfärbung“ wird sich das Tinctionsmittel natürlich nur ganz allmählich von den Schnittflächen aus durch Diffusion in dem betreffenden Objecte verbreiten. Es wird somit, wenn wir von der Diffusionsgeschwindigkeit der verschiedenen Farbstoffe absehen, zur vollständigen Durchfärbung eine umso längere Zeit erforderlich sein, je mehr die Farbstoffe bereits an der Schnittfläche durch Speicherung festgehalten werden. Ausserdem lässt sich natürlich die Schnelligkeit der Durchfärbung, ebenso wie die der Fixierung (cf. § 439), durch Vergrösserung der Schnittflächen und durch Temperaturerhöhung (etwa im Paraffinofen) bedeutend beschleunigen.

§ 455. Als Gefässe kann man bei der Färbung in vielen Fällen zweckmässig die bereits § 443 erwähnten Steinach'schen Glassiebe oder auch die § 357 erwähnten Deckelschalen benutzen. Um in diesen auch bei Anwendung dunkelfarbiger Lösungen kleinere Objecte oder auch Schnitte deutlich erkennen zu können, beleuchtet man zweckmässig die betreffenden Schalen von der Unterseite aus, und zwar kann man hierzu den als Lichtträger, Schnittsucher oder Durchleuchter bezeichneten Apparat benutzen. Derselbe besteht im wesentlichen aus einem ca. 5 *cm* hohen und 10—12 *cm* langen und breiten Holzkästchen, dessen vordere Wand entfernt ist, während die obere durch eine Glasplatte ersetzt ist. In diesem Kasten bringt man dann einen kleinen Glasspiegel an, der derartig nach vorn zu geneigt ist, dass er mit dem Boden einen Winkel von 25—30° bildet. Wird dann dieser Spiegel einem hell beleuchteten Fenster zugekehrt, so reflectiert derselbe das Licht offenbar gegen die den Kasten nach oben abschliessende Glasplatte, resp. gegen die auf dieselbe gestellte Schale. Man kann sich einen solchen Apparat sehr leicht selbst zusammensetzen. Sehr zweckmässig ist aber auch der von Eternod (I) beschriebene Apparat, der in Fig. 185 abgebildet ist. Bei demselben functioniert der vordere durch den Spiegel b beleuchtete Theil der Glasplatte c als Schnittsucher, während sich unterhalb des hinteren Theiles der Glasplatte ein in verschiedenfarbige Abtheilungen getheilter Cartonstreifen befindet, wodurch ebenfalls für manche Fälle sehr geeignete Unterlagen für farbige Objecte enthaltende Schalen etc. gebildet werden. Ausserdem dienen die mit dem Diamant

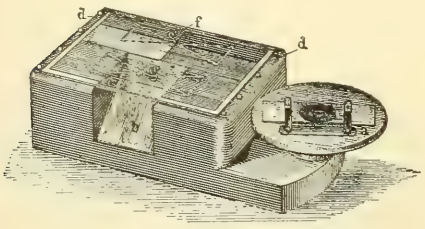


Fig. 185.

in die Glasplatte eingeritzten Zeichnungen bei g zum Centrieren von Präparaten auf dem Objectträger und die kleine Drehscheibe a zum Anfertigen von Lackringen.

§ 456. Verschiedenartige Gefässe wurden ferner empfohlen, um die auf dem Objectträger festgeklebten Mikrotomschnitte zu färben. Hat man gleichzeitig eine grössere Anzahl von Schnitten in ein und dieselbe Farbstofflösung zu bringen, so kann dies zweckmässig mit Hilfe einer Anzahl von Krystallisierschalen geschehen, die in der aus Fig. 186 ersichtlichen Weise ineinandergestellt sind. Der zwischen den Krystallisierschalen befindliche Raum wird mit der betreffenden Farbstofflösung angefüllt und die Objectträger so in demselben aufgestellt, dass die mit den Schnitten versehene Seite nach aussen gekehrt ist. Es ist dann ein Verletzen oder Abstreifen der Schnitte ausgeschlossen. Die Krystallisierschalen werden übrigens am besten nicht aufeinander festgeklebt, sondern einfach ineinander gestellt und die innerste, um ein Auftreiben durch die Flüssigkeit in den äusseren Schalen zu verhindern, durch Schrotkörner oder dergl. belastet. Um endlich die verschiedenen Objecte innerhalb des Apparates von einander unterscheiden zu können, benutzt man zweckmässig mit einem Ausguss versehene Krystallisierschalen; wenn man dann von dem Ausguss Z Fig. 186 aus immer nach derselben Seite hin fortschreitend die Füllung des Apparates mit Objectträgern ausführt, so hat man nur nöthig, sich die Reihenfolge, in der die einzelnen Präparate aufgestellt wurden, zu merken. Um ein Verdunsten der Farbflüssigkeiten zu verhindern, stellt man schliesslich den ganzen Apparat auf eine Glasplatte und schliesst ihn durch eine Glasglocke nach aussen ab.

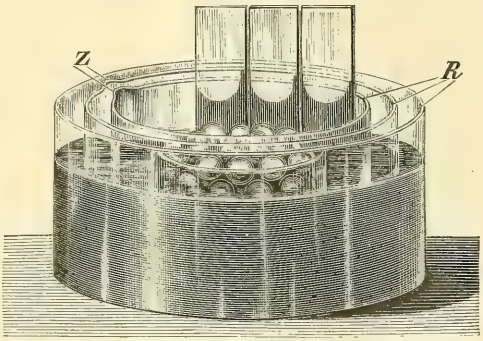


Fig. 186.

Namentlich für alkoholische Farbstofflösungen sind ferner auch die in Fig. 187 und 188 abgebildeten Glaskästen von Leybold in Köln sehr geeignet. Dieselben sind mit Leisten versehen, die die gleichzeitige Aufstellung von einer Anzahl von Präparaten ermöglichen.

Hat man nur wenige Präparate zu färben, so kann man schliesslich auch Gläser von der in Fig. 189 abgebildeten Form verwenden. In denselben lassen sich zwei Objectträger unterbringen, die man so aufstellt, dass die Schnitte nach aussen gerichtet sind.

§ 457. Erfordert das Tinctionsmittel ein Auswaschen in fliessendem Wasser, so kann dies zweckmässig mit Hilfe des in Fig. 184 abgebildeten Apparates geschehen. Mikrotomschnitte, die auf dem Objectträger festgeklebt sind, werden dann in dem bei h befindlichen Raume schräg aufgestellt. Dass aus demselben das Wasser stets von unten aus abfliesst, wird dadurch erreicht, dass die Metallplatte i an der unteren Kante siebartig durchbrochen ist. Durch die niedrigere Platte k, die nicht in dieser Weise

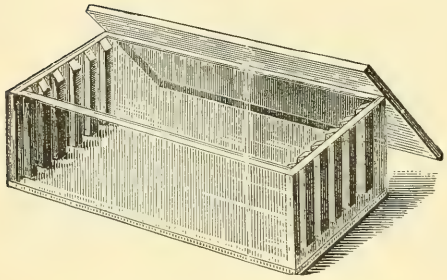


Fig. 187.

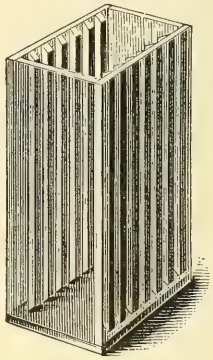


Fig. 188.

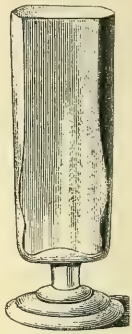


Fig. 189.

durchbrochen ist, wird dagegen bewirkt, dass das Wasser in dem Raume h stets bis zu einem gewissen Niveau steht.

§ 458. Zur Färbung mikroskopisch kleiner Objecte empfiehlt es sich, dieselben, falls sie nicht schon infolge der Fixierung dem Deckgläschen oder Objectträger anhaften, auf dem Objectträger festzukleben, und zwar kann man hierzu namentlich Collodium oder Eiweissglycerin (cf. § 528) benutzen.

h) Die Imprägnierung.

§ 459. Um ein Gewebestück mit Metallsalzen zu imprägnieren, verfährt man gewöhnlich in der Weise, dass man dasselbe zunächst mit einem löslichen Salze des betreffenden Metalls durchtränkt und dann dieses durch Zusatz eines zweiten Salzes in eine unlösliche Verbindung überführt. Diese kann nun entweder direct gefärbt sein, wie z. B. das bei der consecutiven Durchtränkung mit Eisenvitriol und Ferrocyankalium entstehende Berlinerblau, oder es wird erst durch Reduction oder dergl. in eine gefärbte oder undurchsichtige Verbindung übergeführt. Dies ist z. B. bei der Recklinghausen'schen Versilberungsmethode der Fall, nach der die Objecte zuerst mit Silbernitrat durchtränkt werden; dieses wird dann durch Kochsalz in Chlorsilber verwandelt, das schliesslich wie eine photographische Platte am Lichte reduciert wird.

§ 460. Bei manchen als Imprägnation bezeichneten Processen handelt es sich nun aber unzweifelhaft nur um eine einfache Reaction zwischen bestimmten Inhaltsstoffen der Zelle und dem zugesetzten Reagens, so z. B. bei der durch Osmiumsäure bewirkten Schwärzung der Fette und ähnlichen Verbindungen. Auf der anderen Seite ist es auch zur Zeit nicht möglich, zwischen Imprägnation und Tinction eine scharfe Grenze zu ziehen. Im wesentlichen beruht ja die Imprägnation jedenfalls auf den gleichen Processen wie die Tinction. Auch kommt es bei den complicierteren Tinctionsmethoden sicher ebenfalls vielfach zur Bildung von unlöslichen Verbindungen innerhalb der zu färbenden Objecte.

§ 461. Handelt es sich nun aber bei der Imprägnation wirklich um eine Niederschlagsbildung aus 2 dem betreffenden Objecte zugeführten Substanzen, so ist bei der Deutung der erhaltenen Bilder grosse Vorsicht geboten. Ist es doch in vielen Fällen nicht einmal mit Sicherheit zu entscheiden, ob durch den Niederschlag Hohlräume oder gewisse Structurelemente angezeigt werden. Es kann ja das zuerst zugesetzte Salz ebensowohl in Hohlräumen festgehalten werden, als in der gleichen Weise, wie die Tinctionsmittel, innerhalb des Imbititionswassers bestimmter Structurelemente gespeichert werden. Ferner zeigen derartige Niederschlagsbildungen, wie neuerdings wieder von Rabl (I) speciell erörtert wurde, häufig sehr regelmässige Schichtungen, die sicher nicht auf irgend welchen vitalen Structuren beruhen. Dieselben treten nämlich auch in nachweisbar völlig homogenen Substanzen auf; ihre Entstehung ist aber physikalisch zur Zeit noch nicht zu erklären.

Als Imprägnationsmittel wurden nun bisher in erster Linie die Edelmetalle (Gold, Silber, Platin etc.) benutzt. Namentlich bei der Untersuchung des Nervensystems spielt ja zur Zeit die Vergoldung und Versilberung eine grosse Rolle. Bezüglich der zahlreichen zu diesem Zwecke von den verschiedenen Autoren empfohlenen Methoden sei auf die Specialliteratur verwiesen.

i) Die Injection.

§ 462. Die Injection mit farbigen Massen wird namentlich in der thierischen Histologie zur Sichtbarmachung verschiedener Canäle und Hohlräume, in erster Linie der Blutbahn, angewandt. Je nach der Anwendungsweise lassen sich nun drei verschiedene Arten von Injectionsmethoden unterscheiden, die im folgenden kurz besprochen werden sollen.

§ 463. 1. Bei der natürlichen Injection, die nur bei dem Blutgefässystem anwendbar ist, benutzt man direct die in diesem enthaltenen Blutkörperchen, um die Blutbahn deutlich sichtbar zu machen. Dieselben werden in den betreffenden Organen womöglich noch zu besonderer An-

häufung gebracht. Auch kann man natürlich durch nachheriges Färben der Blutkörperchen ein deutlicheres Hervortreten des Blutgefässsystems bewirken.

§ 464. 2. Bei der künstlichen Injection wird in das zu untersuchende Canalsystem durch Druck eine gefärbte Masse hineingepresst. In das zu injicierende System wird zu diesem Zwecke eine der Weite desselben entsprechende Metallröhre, „Canüle", eingeführt und nachdem die Oeffnung des Gefässsystems durch Umwickeln der Canüle fest verschlossen, durch diese die betreffende Injectionsmasse eingepresst.

Bei sehr feinen Canälen kann man auch in der Weise verfahren, dass man eine mit abgeschrägter Spitze versehene Canüle möglichst schräg in das betreffende Object hineinsticht und dann ohne weitere Ligatur die Injectionsmasse einpresst. Durch die Elasticität des Gewebes

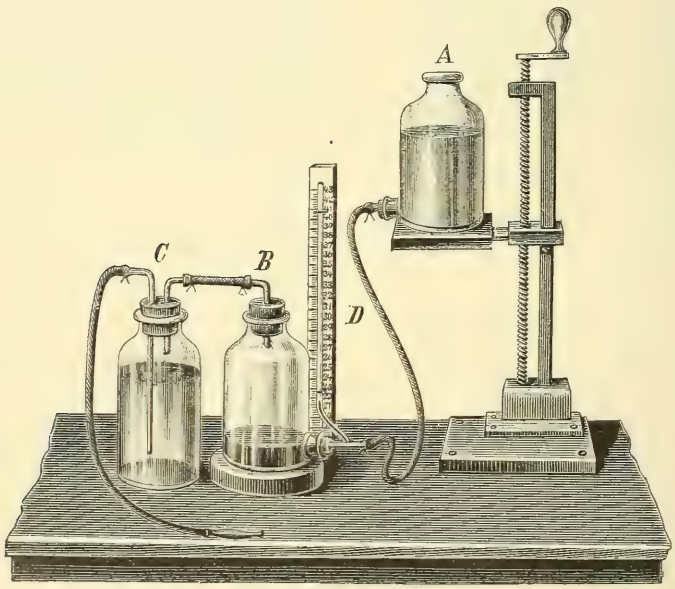


Fig. 190.

werden dann die Schnittflächen desselben der Canüle fest angepresst, und es kann somit, wenn sich an der Offnung der Canüle angeschnittene Gefässe befinden, von diesen aus eine Injection stattfinden.

Den zum Einpressen der Injectionsmasse nöthigen Druck kann man am einfachsten mit einer gewöhnlichen Injectionsspritze durch den Druck der Hand oder auch mit Hilfe eines gewöhnlichen Gummigebläses erzeugen.

Für zartere Objecte, bei denen eine genauere Regulierung des Druckes wünschenswert sein kann, wird man mit Vortheil den Ludwig'schen Injectionsapparat benutzen. Bei demselben wird, wie Fig. 190 erkennen

lässt, durch die zwischen den beiden Gefässen A und B befindliche Quecksilbersäule, deren Höhe durch verticale Verschiebung beliebig reguliert werden kann, auf die in der Flasche C befindliche Injectionsmasse der nöthige Druck ausgeübt. Die Grösse desselben kann an dem Manometer D jederzeit abgelesen werden.

Bezüglich der zahlreichen angewandten Injectionsmassen, die z. B. von Grübler (Leipzig) im gebrauchsfertigen Zustande bezogen werden können, erwähne ich, dass man dieselben in warmflüssige und kaltflüssige eintheilen kann. Die ersteren bestehen im wesentlichen aus einer mit Wasser versetzten Gelatine, die durch Zusatz von Carmin, Berlinerblau oder dergl. gefärbt ist. Sie sollen soviel Gelatine enthalten, dass sie beim Erkalten vollständig fest werden und auch bei der späteren Präparation möglichst wenig an Volum verlieren. Damit nun aber nicht schon während der Injection eine Verstopfung der injicierten Canäle durch Erkalten der Injectionsmasse stattfindet, sind in diesem Falle die zu injicierenden Objecte vorher in entsprechender Weise zu erwärmen.

Als kalte Injectionsmassen werden namentlich wässerige Lösungen von löslichem Berlinerblau und Silbernitrat, sowie auch Olivenöl empfohlen. Letzteres wird zweckmässig nach der Injection durch nachherige Behandlung mit Osmiumsäure geschwärzt.

§ 465. 3. Bei der physiologischen Injection wird die Injectionsmasse, die in diesem Falle völlig giftfrei sein muss, direct dem lebenden Thier injiciert. Dieselbe wird dann in den Kreislauf des Thieres aufgenommen und kann in ganz bestimmten Organen wieder ausgeschieden werden. Ist in dieser Weise die erwünschte Injection eingetreten, so wird das betreffende Thier schnell getödtet und entweder direct oder nach vorheriger Fixierung und Härtung in der gewöhnlichen Weise untersucht.

3. Die mechanische Präparation.

a) Das Präpariermikroskop.

§ 466. Besitzen die zu präparierenden Objecte eine zu geringe Grösse, um mit dem unbewaffneten Auge mit genügender Deutlichkeit beobachtet werden zu können, oder handelt es sich darum, an kleinen Objecten Schnitte von ganz bestimmter Orientierung auszuführen, so bedient man sich zweckmässig eines Präpariermikroskops, das mit Rücksicht auf seinen optischen Apparat auch wohl als einfaches Mikroskop oder Simplex bezeichnet wird.

§ 467. Der optische Theil des Präpariermikroskops besteht nämlich im wesentlichen aus einer einzigen Convexlinse oder aus

einem System von Linsen, das in seiner optischen Wirkung mit derjenigen einer Convexlinse übereinstimmt. Dieselben sind auch häufig so eingerichtet, dass bei ihnen durch Abschrauben der vorderen Linsen eine Verminderung der Vergrösserung herbeigeführt werden kann.

Mit Hilfe dieser Linsen wird nun in gleicher Weise wie bei der gewöhnlichen Beobachtung mit der Lupe von dem zu beobachtenden Objecte ein aufrechtes, vergrössertes virtuelles Bild erzeugt, wozu nach § 14 erforderlich ist, dass sich das betreffende Object zwischen Linse und Brennpunkt befindet. Der Apparat ist natürlich beim Gebrauch so einzustellen, dass das betreffende Bild in die Entfernung der deutlichen Sehweite fällt.

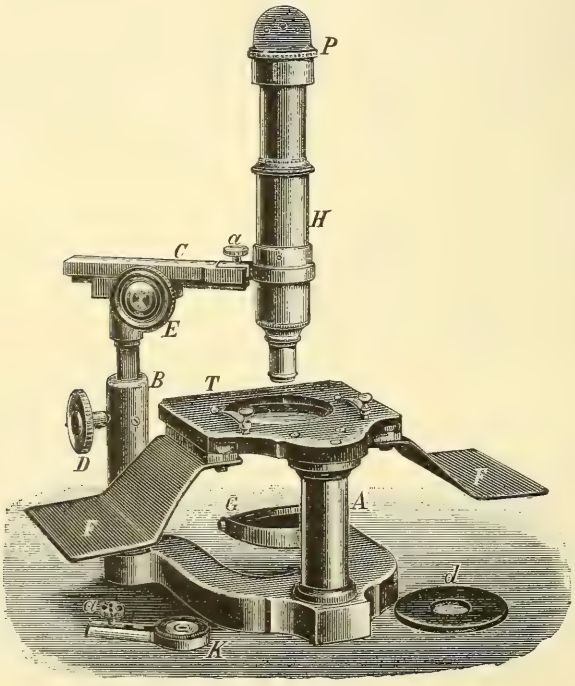


Fig. 191.

Das neue Präpariermikroskop von R. Winkel (Fig. 191) ist nun übrigens so eingerichtet, dass das an demselben befindliche einfache Linsensystem, wenn man mit stärkeren Vergrösserungen arbeiten will, gegen einen Mikroskoptubus (H) ausgetauscht werden kann. Um die in diesem Falle eintretende Umkehrung des Bildes, die bei der Präparation störend wirken muss, aufzuheben, setzt man dann auf den Tubus zweckmässig ein sogenanntes bildumkehrende Prisma (P; cf. § 299).

§ 468. Von den mechanischen Theilen des Präpariermikroskops ist natürlich, abgesehen von der zur Einstellung der

Linse dienenden Vorrichtung, in erster Linie die beim Präparieren den Händen als Stütze dienende Unterlage von Bedeutung. Es dienen zu diesem Zwecke gewöhnlich zwei mit Leder überzogene entsprechend gebogene Metallplatten (F, Fig. 191), die am Objecttisch mit schwalbenschwanzartiger Führung befestigt werden, oder auch ein solider Holzblock, der auf beiden Seiten mit Erhöhungen versehen ist, zwischen denen sich das Stativ des Präpariermikroskops befindet. Bei dem grössten Präpariermikroskop von Zeiss dienen als Unterlage für die Hände, wie Fig. 192 zeigt, leicht zusammenlegbare aus Holzleisten verfertigte Backen.

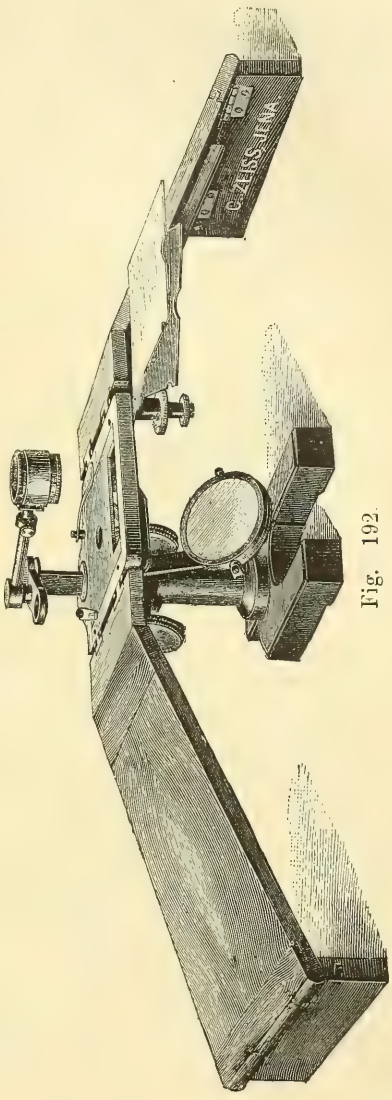


Fig. 192.

Im übrigen verzichte ich darauf, auf die Construction der verschiedenen Präpariermikroskope näher einzugehen. Ich bemerke nur noch, dass es vielfach vortheilhaft sein kann, die Objecte nicht in der gewöhnlichen Weise mit dem Spiegel zu beleuchten, sondern auf weisser oder schwarzer Unterlage zu beobachten, zu diesem Zwecke dienen die auf der rechten Seite der Fig. 192 sichtbaren beiden Scheiben, die durch entsprechende Drehung leicht über den Spiegel geschoben werden können.

§ 469. Bezüglich des in Fig. 191 abgebildeten Winkel'schen Präpariermikroskopes erwähne ich schliesslich noch, dass die die Beobachtungslinsen tragende Säule, die bei der gewöhnlichen Lage während der Präparation unter Umständen hinderlich werden kann, bei B seitlich am Mikroskopfuss angebracht ist. Der an derselben mit der Schraube a fixierte Mikroskoptubus (H) kann zur Erlangung schwächerer Vergrösserungen durch die seitlich neben dem Apparat abgebildete einfache Lupe K ersetzt werden.

b) Das Comprimieren, Zerreiben und Zerzupfen.

§ 470. Um den zur mikroskopischen Untersuchung bestimmten Objecten die nöthige Durchsichtigkeit zu verleihen, kann man dieselben zunächst einfach durch Druck zwischen 2 Glasplatten in möglichst dünner Schicht ausbreiten. Natürlich ist dies aber nur bei sehr weichen Präparaten möglich, und es wird auch bei diesen im allgemeinen eine starke Schädigung der einzelnen Structurelemente durch die Comprimierung bewirkt. So spielt denn auch die Comprimierung unter den zur Zeit üblichen Präparationsmethoden nur noch eine sehr untergeordnete Rolle, und ich will mich deshalb auch darauf beschränken von den verschiedenen zu diesem Zwecke empfohlenen Apparaten, den sogenannten Compressorien, die ursprünglich von Schacht herrührende Construction etwas näher zu besprechen. Dieselbe ist in der von F. E. Schulze verbesserten Form in der nach Behrens (IV, 53) copierten Fig. 193 dargestellt. Dieses Compressorium wird mit Hilfe der Schraube B an dem Objecttisch des Mikroskops festgeschroben. Der obere Theil ist ferner in horizontaler Ebene drehbar und wird zum Gebrauch so gedreht, dass der bei J befindliche Metallring sich gerade über dem Deckglase befindet. Durch entsprechende Drehung der Schraube F wird dann der um C drehbare Kniehebel G auf das Deckglas herabgedrückt, während die Feder E dieser Bewegung entgegenwirkt.

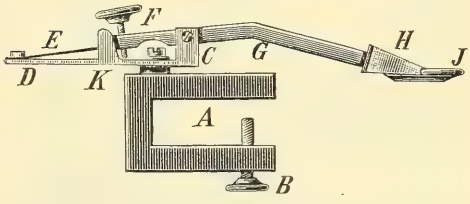


Fig. 193.

§ 471. Eine grössere Bedeutung als das Comprimieren besitzt nun aber bei der Untersuchung vieler Objecte jedenfalls das Zerzupfen, zu dem man je nach der Natur des Objectes verschiedenartig gestaltete Nadeln verwendet. Dieselben können erforderlichen Falls durch Schleifen auf dem Schleifstein oder mit feinem Schmirgelpapier geschliffen und poliert werden. Handelt es sich ferner um völlig durchsichtige Objecte, so führt man das Zerzupfen zweckmässig auf dunkler Unterlage aus, während man gefärbte Objecte im allgemeinen auf weisser Unterlage besser erkennen wird. Unter Umständen kann man das Zerzupfen auch mit Vortheil unter dem Präpariermikroskop ausführen.

Durch diese Operation werden die histologischen Elemente natürlich viel weniger angegriffen als durch die Compression und kann man mit Hilfe derselben in vielen Fällen die lebenden Zellen in unveränderter Beschaffenheit sichtbar machen. Natürlich ist es dann nöthig, das Zerzupfen in einer indifferenten Lösung (cf. § 360) auszuführen. Ausserdem

leistet das Zerzupfen namentlich auch bei der Isolierung der Zellen von Organen, die mit Macerationsflüssigkeiten (cf. § 421—432) behandelt sind, gute Dienste.

§ 472. Bei härteren Objecten, z. B. Flechtenapothecien, kann man eine grobmechanische Isolierung der einzelnen Theile bis zu ausreichender Durchsichtigkeit vielfach dadurch erreichen, dass man dieselben unter Anwendung starken Druckes auf dem Objectträger zerreibt. Man bringt zu diesem Zwecke Fragmente von dem betreffenden Objecte oder dicke Schnitte in einem Tropfen Wasser oder einer anderen Beobachtungsflüssigkeit auf den gewöhnlichen Objectträger, bedeckt mit Deckglas und zerreibt das Präparat, indem man mit einem Finger auf das Deckglas einen festen Druck ausübt.

c) Das Schneiden.

§ 473. Das Schneiden der zu untersuchenden Objecte kann entweder freihändig oder mit Hilfe einer mechanischen Vorrichtung, des Mikrotoms, ausgeführt werden. Die erstere Art des Schneidens war bei der mikroskopischen Untersuchung der Pflanzen bis vor wenigen Jahren fast ausschliesslich in Gebrauch, während von den Anatomen und Zoologen die Mikrotomtechnik bereits zu grosser Vollkommenheit ausgebildet war. In neuerer Zeit hat sich nun aber das Mikrotom auch in den botanischen Laboratorien immer mehr Eingang verschafft, und es wird auch wohl niemand, der sich durch Erlernung der Mikrotomtechnik in dieser Frage ein selbständiges Urtheil gebildet hat, in Zweifel ziehen können, dass man sich auch bei der Untersuchung pflanzlicher Objecte durch Anwendung des Mikrotoms viel Zeit und Mühe sparen kann und dass man mit Hilfe desselben in vielen Fällen zu Resultaten gelangt, die sich bei freihändigem Schneiden nicht hätten erzielen lassen.

Auf der anderen Seite kann nun aber auch nicht in Abrede gestellt werden, dass man in vielen Fällen bei der Untersuchung thierischer, sowohl wie pflanzlicher Objecte mit dem freihändigen Schneiden schneller und ebenso sicher zum Ziele gelangt, und es ist denn auch einem jeden, der sich mit histologischen Untersuchungen befassen will, dringend anzurathen, sich auch im Freihandschneiden eine gewisse Fertigkeit zu erwerben.

1. Die zum Schneiden erforderlichen Instrumente.

§ 474. 1. Zum Freihandschneiden benutzt man im allgemeinen Messer von der Form der gewöhnlichen Rasiermesser; doch sind dieselben zum Theil mit besonders starken Klingen versehen. Man

unterscheidet in dieser Beziehung zwischen Messern mit ebenen Schneidflächen („plangeschliffenen Messern“) und solchen, deren Schneidflächen zur Erzielung einer schärferen Schneide eine mehr oder weniger stark concave Krümmung besitzen („hohlgeschliffene Messer“). Je nach der Consistenz der zu schneidenden Objecte wird man nun von den verschiedenen Messerarten bald der ersteren, bald der zweiten den Vorzug geben müssen und wird speciell bei harten Objecten schwere Messer mit hohem Rücken anwenden, während zur Erlangung grosser Schnitte von weichen Objecten möglichst flache Messer den Vorzug verdienen.

§ 475. Namentlich in der thierischen Histologie finden ferner zum Schneiden sehr weicher Objecte die sogenannten Doppelmesser eine ausgedehnte Anwendung. Ich erwähne von diesen die neuerdings von Schiefferdecker (IV) empfohlene Construction, die von W. Walb (Heidelberg) ausgeführt wird. Das betreffende Messer besitzt, wie Fig. 194

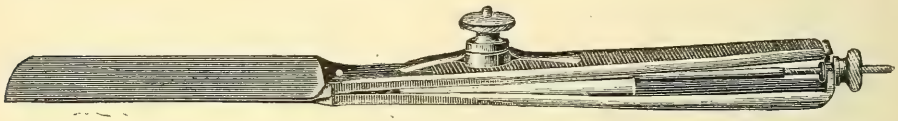


Fig. 194.

zeigt, zwei Klingen von Rasiermesserform. Diese werden durch ein zwischen den beiden Griffen befindliches keilförmiges Metallstück, das mit der am hinteren Ende des Griffes sichtbaren Schraube in Verbindung steht, je nach der Einstellung dieser Schraube verschieden weit auseinander gehalten. Eine zweite seitlich angebrachte Schraube besitzt im Griff des unteren Messers eine entsprechende Schraubenmutter und wirkt vermittels eines durchgehenden Stiftes anziehend auf diesen, während sie vermittels einer starken Feder auf den anderen Griff drückt, so dass die Klingen in der gewünschten Lage festgehalten und einander parallel orientiert werden.

§ 476. 2. Das Mikrotom. Es kann nicht unsere Aufgabe sein, alle die verschiedenen Mikrotome, die namentlich in den letzten Jahren construiert wurden, ausführlich zu besprechen, vielmehr glaube ich mich auf die kurze Beschreibung einiger bewährter Formen, die überdies in ihrer Constructionsweise möglichst von einander abweichen, beschränken zu sollen. Nach dem über diese Gesagtem dürfte übrigens auch die Benutzung anderweitiger Constructionen keine Schwierigkeiten mehr bieten.

§ 477. In erster Linie erwähne ich das nach Angaben von Altmann construierte Supportmikrotom von Schanze (Leipzig), (Fig. 195), das ich seit Jahren mit bestem Erfolg benutze. Bei demselben geschieht die Bewegung des Messers mit Hilfe einer Schraube,

die mit der auf der rechten Seite der Figur sichtbaren Kurbel gedreht wird. Das zu schneidende Object wird entweder, wie in der Figur angedeutet ist, zwischen den beiden Backen einer Klammer festgeschroben oder kann auch auf das leicht an Stelle dieser Klammer zu setzende Paraffintischchen aufgeschmolzen werden. Dieses ist übrigens ebenso wie die Klammer um eine verticale Achse drehbar und zugleich in verticaler Richtung verschiebbar. Der kreuzförmige Klammerträger gestattet ferner eine Drehung um zwei aufeinander senkrecht stehende Achsen.

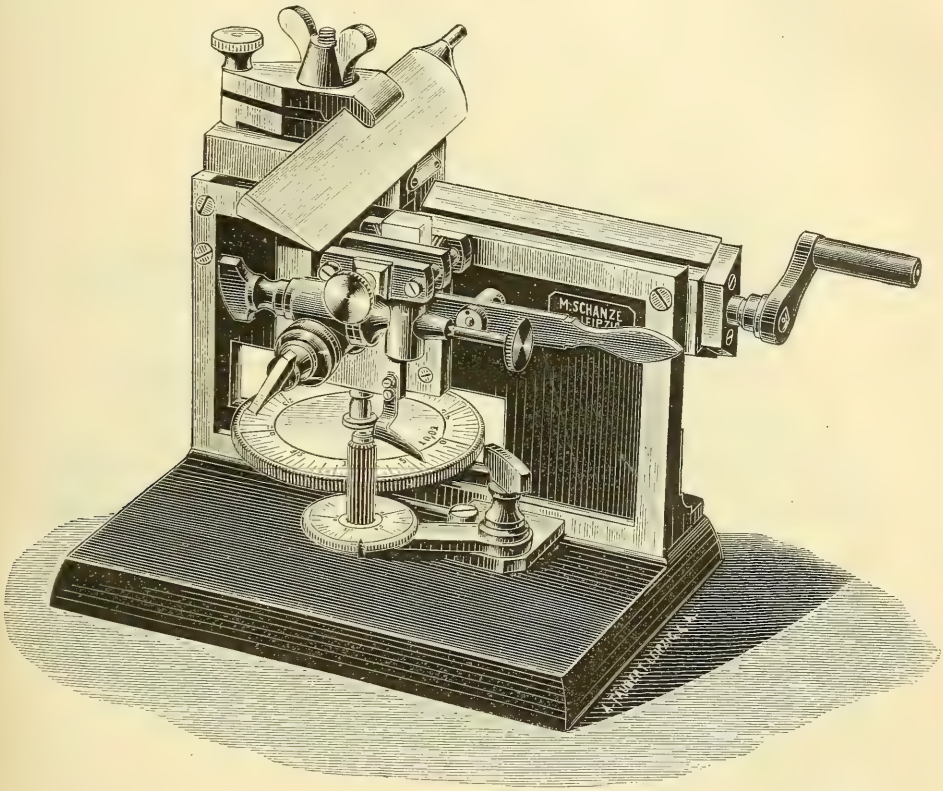


Fig. 195.

Die Hebung des Objecthalters geschieht in diesem Falle mit Hilfe einer Mikrometerschraube, die mit einer Theilscheibe versehen ist, welche Hebungen von 5 μ direct abzulesen gestattet. Will man feinere Schnitte anfertigen, so bringt man mit der grossen Theilscheibe, wie in der Fig. 195 dargestellt ist, die mit Zähnen in diese hineingreifende kleine Scheibe in Berührung, an dieser können direct Hebungen von 1 μ abgelesen werden.

Auf Wunsch wird der Apparat übrigens auch mit einer sogenannten „Einstellvorrichtung“ versehen, mit Hilfe derer man die Mikrometerschraube um eine je nach der Einstellung verschieden grosse Strecke bewegen kann, ohne auf die Schraube hinsehen zu brauchen. Diese Vorrichtung kann namentlich beim Serienschneiden gute Dienste leisten.

§ 478. Das in Fig. 196 abgebildete Schlittenmikrotom von Jung (Heidelberg) unterscheidet sich von dem soeben besprochenen namentlich dadurch, dass die das Heben des Objecthalters bewirkende Mikrometerschraube nicht vertical, sondern horizontal steht und den auf einer schiefen Ebene schlittenartig hingleitenden Objecthalter vor sich herschiebt. Die Bewegung des das Messer tragenden Schlittens geschieht speciell bei dem in Fig. 196 abgebildeten Apparate einfach mit der

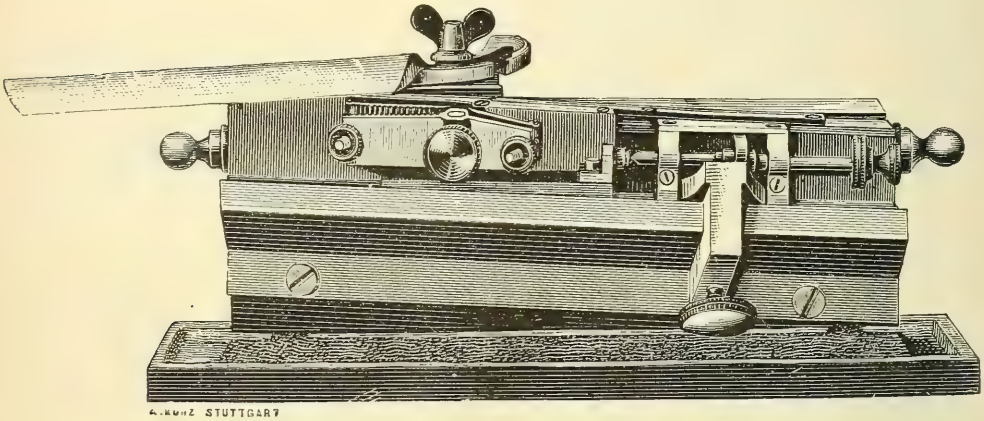


Fig. 196.

freien Hand. Uebrigens liefert Jung auch Mikrotome, deren Construction in verschiedenen Punkten von jener abweicht. Speciell sind die meisten Objecthalter so construiert, dass sie zur feinen Einstellung eine Drehung und verticale Bewegung der Objectklammer ermöglichen. Auch wird eine Einschnappvorrichtung auf Wunsch an der Mikrometerschraube angebracht.

§ 479. Bei dem nach Angaben von Minot von E. Zimmermann (Leipzig) construierten Mikrotom (Fig. 197), das übrigens auch von Schanze (Leipzig) zu beziehen ist, wird im Gegensatz zu den beiden soeben beschriebenen das zu schneidende Object über das feststehende Messer hingeführt. Die Bewegung wird in diesem Falle durch das auf der rechten Seite der Figur sichtbare grosse Antriebrad bewirkt, das den an dem Prisma A befindlichen Schlitten bei fortgesetzter Drehung fortwährend auf- und abwärts bewegt. An diesem Schlitten

befindet sich ein zweiter horizontaler Schlitten, mit Hilfe dessen das auf dem Paraffintischchen p befindliche Object, das durch Drehen um 3 verschiedene Achsen orientiert werden kann, nach jeder Umdrehung

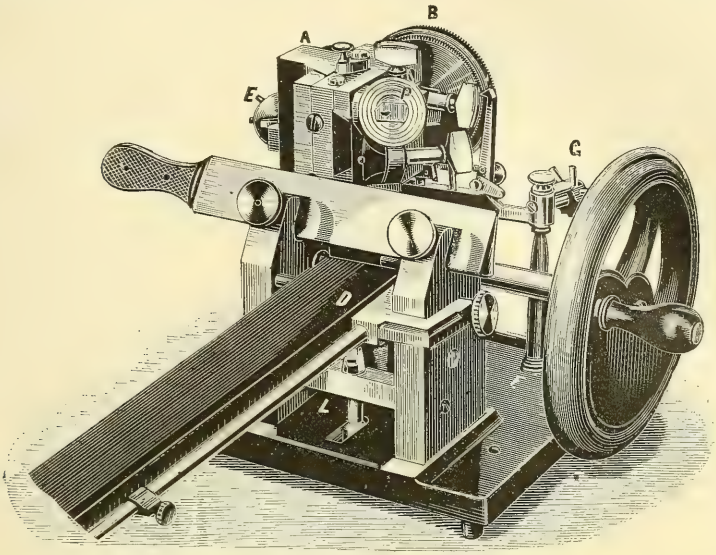


Fig. 197.

der Kurbel durch mechanische Einschnappvorrichtung um eine bestimmte Strecke vorwärts bewegt wird. Es lässt sich so die Schnittdicke nach Belieben variieren, und zwar werden Modelle construiert, die dieselbe auf $^1/_2$ μ herabzudrücken gestatten. Die in Bändern zusammenhängenden Schnitte können mit Hilfe der Bandführung (D) fortbewegt werden.

Erwähnen will ich übrigens noch, dass von diesem Apparate neuerdings auch ein Modell angefertigt wurde, das eine Schrägstellung des Messers gestattet und speciell auch für das Schneiden von Celloidinmaterial geeignet ist.

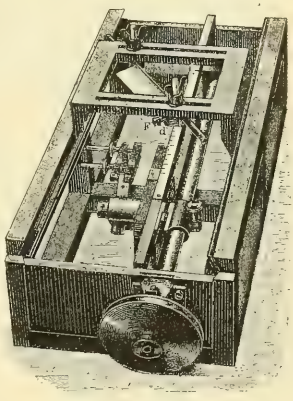


Fig. 198.

§ 480. Das nach Angabe von Vinassa (I) von Büchi (Bern) angefertigte Mikrotom (Fig. 198) ist speciell zum Schneiden von harten Objecten bestimmt und besteht aus einem starken gusseisernen Rahmen, in dem das an beiden Enden befindliche Messer in einem geeigneten Schlitten hin und her bewegt werden kann. Der das zu schneidende Object tragende Schlitten wird

ähnlich wie bei den Schlittenmikrotomen mit einer Mikrometerschraube durch Gleiten auf einer schiefen Ebene gehoben.

§ 481. Will man schliesslich die Objecte im gefrorenen Zustande schneiden, so benutzt man ein sogenanntes Gefriermikrotom oder bringt an dem gewöhnlichen Mikrotom eine geeignete Gefriervorrichtung an. Bei allen derartigen Instrumenten wird die Kälte durch Verdunstung von Aether erzeugt. Speciell bei dem in Fig. 199 in Verbindung mit einem Schanze'schen Mikrotom dargestellten Gefrierapparat lässt man das zu schneidende Object auf der oberen Platte eines mit seitlichen Löchern versehenen hohlen Metallkästchens anfrieren, indem

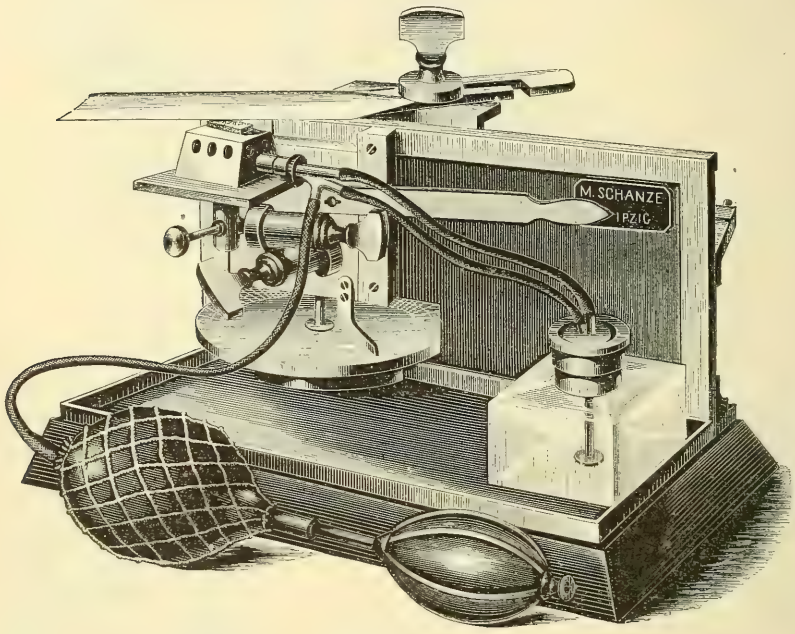


Fig. 199.

man mit dem Gummigebläse aus dem auf der rechten Seite sichtbaren Fläschchen gegen die Metallplatte einen Strom fein verstäubten Aethers hinbläst. Natürlich ist diese Methode nur bei einigermaassen dünnen Objecten anwendbar. Das Schneiden geschieht, wie die Figur zeigt, mit schiefgestelltem Messer.

§ 482. Die Gestalt der zu benutzenden Mikrotommesser ist in erster Linie von der Construction des betreffenden Mikrotoms, der Art der Messerführung und der Consistenz der zu schneidenden Objecte abhängig. Speciell für mit Paraffin durchtränkte Objecte kann ich übrigens die kurzen Messer nach Henking (Fig. 200), die von Walb (Heidelberg)

zu beziehen sind, bestens empfehlen. Will man mit schräggestelltem Messer schneiden, so ist aber natürlich eine viel längere Klinge nothwendig. Derartige Messer müssen auch einen entsprechend starken Rücken besitzen. Zum Schneiden von sehr harten Objecten wurden übrigens auch besondere Messerbügel construiert, die mit dem Rücken des Messers in Berührung gebracht werden und dadurch ein Ausbiegen desselben verhindern.

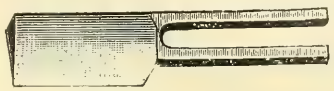


Fig. 200.

§ 483. Schliesslich mögen an dieser Stelle noch die sogenannten Schnittstrecker Erwähnung finden. Dieselben sind dazu bestimmt, ein Aufrollen der Mikrotomschnitte zu verhindern, und werden namentlich beim Schneiden von mit Paraffin durchtränkten Objecten häufig angewandt. Bei diesen tritt im allgemeinen eine Rollung der Schnitte umso eher ein, je härter das benutzte Paraffin und je dickere und grössere Schnitte man anfertigt.

§ 484. Von den verschiedenen Arten von Schnittstreckern erwähne ich nun in erster Linie den von R. Jung construierten Apparat, der, wie Fig. 201 zeigt, am Rücken des Messers befestigt wird. Zur Benutzung

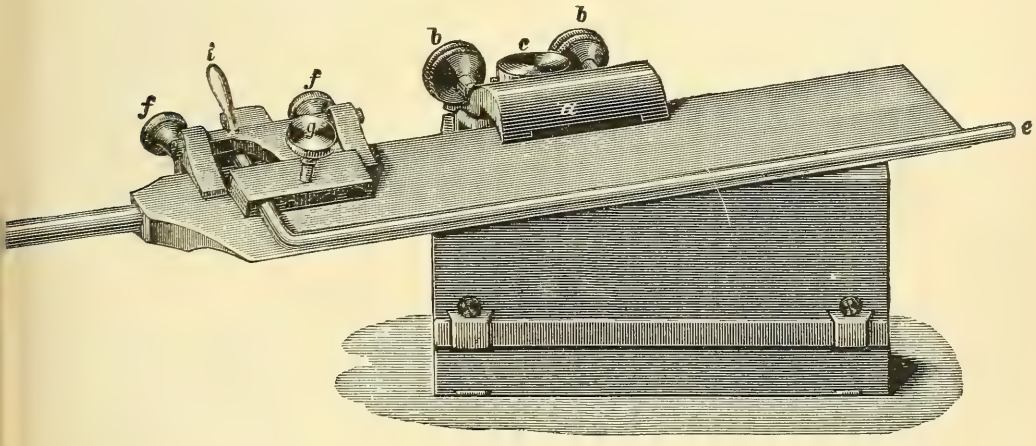


Fig. 201.

wird zunächst der Stab e mittels der beiden Schrauben f genau parallel zur Schneide des Messers gerichtet und soweit heruntergelassen, dass sein Querschnitt halb über sie hervorragt, alsdann wird er mit der vorderen Schraube g bis nahe zur Berührung mit der Schneide gesenkt.

§ 485. Sehr zweckmässig ist ferner auch der neuerdings von Born (I) empfohlene Schnittstrecker (Fig. 202), der von Kleinert (Breslau) bezogen werden kann. Bei diesem wird dem Aufrollungsbestreben

der Schnitte durch das Papierstückchen p entgegengewirkt. Dasselbe befindet sich an dem um die Achse x drehbaren Hebel aa_1, der zu diesem Zwecke an seinem einen Ende eine kleine flache federnde Zange (z) trägt. Der Druck, den das Papierstückchen auf die Schnitte ausübt, lässt sich ferner durch kleine Reiterchen (r), die in entsprechende Einschnitte des Hebelarmes a_1 hineingehängt werden, regulieren. Ausserdem wird man je nach der Härte des Paraffins und der Schnittdicke das Papierstückchen p aus dünnem Pauspapier, Schreibpapier oder Cartonpapier herstellen können.

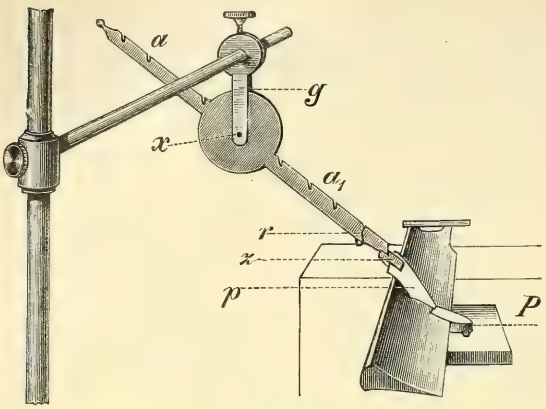


Fig. 202.

Orientiert wird der an einem besonderen Stative angebrachte Apparat in der Weise, dass das freie Ende des Papierstreifens auf dem dem Messer zugewandten Rande der Schnittfläche des Paraffinklotzes ruht. In dieser Form ist der Apparat natürlich nur für Mikrotome anwendbar, bei denen, wie bei dem in Fig. 195 abgebildeten, das Object mit einer Schraube aufwärts bewegt wird. Bei den Schlittenmikrotomen (cf. Fig. 196) würde dasselbe natürlich mit dem Objectschlitten in Verbindung zu setzen sein.

2. Das Instandhalten und Schleifen der Messer.

§ 486. Zur Instandhaltung des Messers ist es zunächst dringend nothwendig, dasselbe nach jedesmaligem Gebrauch zu reinigen und speciell die Klinge vor jedem Rosten sorgfältig zu schützen. Sein Hauptaugenmerk hat man aber natürlich der Schneide des Messers zuzuwenden. Es ist in dieser Beziehung zunächst zu beachten, dass man zwar mit feinen Rasiermessern auch von relativ harten Objecten ohne Beeinträchtigung der Schneide dünne Schnitte anfertigen kann, dass aber die gleiche Schneide durch Anfertigung dicker Schnitte sofort ruiniert werden würde. Man hat deshalb auch namentlich zum Zuschneiden der Objecte gröbere Messer, z. B. gewöhnliche Skalpelle, zu benutzen und das Rasiermesser erst dann anzuwenden, wenn man sich eine entsprechend orientierte glatte Schnittfläche geschaffen hat.

§ 487. Trotz aller Vorsicht erleidet nun aber jedes Messer beim Schneiden eine gewisse Abnutzung, und es ist daher auch jedem Mikroskopiker anzurathen, sich im Abziehen der Messer eine gewisse Fertigkeit zu erwerben, während man das sehr mühsame und zeitraubende Schleifen stärker abgenutzter Messer wohl zweckmässiger von einem zuverlässigen Instrumentenmacher ausführen lässt. Zum Abziehen der zum freihändigen Schneiden bestimmten Rasiermesser sind nun speciell die von Zimmer (Berlin) zu beziehenden sogenannten chinesischen Streichriemen sehr geeignet. Dieselben tragen 4 verschieden harte Streichflächen, von denen nach dem gewöhnlichen Gebrauch die beiden oder wenigstens die drei weichsten ausreichen. Die steinartige Streichfläche N. 1 dient zum Entfernen kleiner Scharten. Bei der Benutzung der Streichflächen 2—4 ist das Messer mit der ganzen Fläche aufzulegen und mit dem Rücken nach vorne ohne zu drücken über dieselbe hinzuführen. Am Ende des Streichriemens wird das Messer auf dem Rücken umgewandt.

§ 488. Speciell für Mikrotommesser geeignete Streichriemen sind von Walb (Heidelberg) zu beziehen. Um nun aber diesen Messern während des Abziehens die richtige Lage zu geben, bringt man an denselben eine sogenannte Abziehvorrichtung an, die ebenfalls von Walb geliefert wird. Dieselbe besteht bei den Mikrotommessern mit geradem Griff aus einer runden Stahlröhre (Fig. 203), die auf den Rücken des Messers geschoben und dann mit der an der Oberseite sichtbaren Schraube

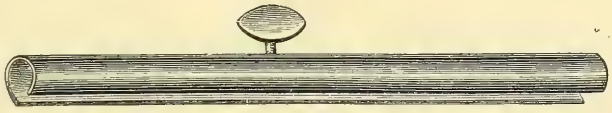


Fig. 203.

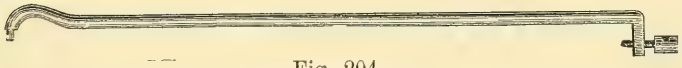


Fig. 204.

angezogen wird. Bei Messern mit abgebogenem Griff verwendet man dagegen den Draht (Fig. 204), der an seinem unteren Ende vermittels eines kleinen Hakens in den Griff des Messers eingehängt und am oberen Ende mit einer Schraube angezogen wird.

Bei Anwendung dieser Abziehvorrichtungen wird auch bei plangeschliffenen Messern nicht die ganze Fläche des Messers abgeschliffen, sondern es wird nur an der vorderen Kante ein Keil hergestellt, dessen Orientierung aus Fig. 205 ersichtlich ist. Dieselbe stellt einen Querschnitt

durch die zuerst besprochene Abziehvorrichtung (A), das Messer (M) und den Streichriemen (R) dar. Die untere Fläche der so gebildeten Schneide soll so orientiert sein, dass sie bei dem in das Mikrotom eingespannten Messer genau horizontal liegt (cf. § 494).

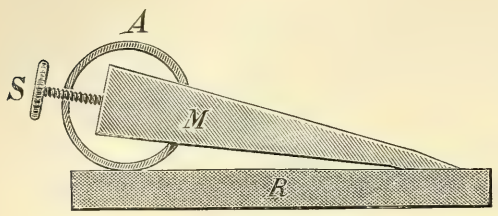


Fig. 205.

§ 489. Eine speciell für das Schneiden von Paraffinmaterial sehr geeignete Schleifmasse kann man sich übrigens auch nach der von Moll (I) empfohlenen Methode in folgender Weise herstellen: Man erhitzt eine Lösung von 52 gr. Ammoniumoxalat in ca. 1 Liter Wasser in einer Porzellanschale zum Sieden, giesst dann eine zuvor filtrierte Lösung von 100 gr. Eisenvitriol in ca. 150 gr. Wasser hinzu und erhitzt noch einen Augenblick weiter. Es bildet sich dann ein gelber Niederschlag von oxalsaurem Eisen, der nach 24stündigem Stehenlassen solange durch Decantieren gereinigt wird, bis eine mit etwas Salzsäure versetzte 5% Lösung von Baryumchlorid in dem Waschwasser keinen Niederschlag mehr erzeugt. Der Niederschlag wird sodann abfiltriert, getrocknet und in einer flachen Porzellanschale in der Weise zum Glühen gebracht, dass die untergestellte Flamme sofort ausgelöscht wird, sobald sich ein Theil der Masse geschwärzt hat. Das Eisenpulver glüht dann von selbst weiter. Das so erhaltene Eisenoxyd zeigt noch vollkommen die Krystallformen des oxalsauren Eisens, fällt aber durch Reibung zu einem äusserst feinen Pulver auseinander, wobei die graubraune Farbe der Masse in eine hellrothbraune umgewandelt wird. Gerade während dieses Auseinanderfallens übt nun aber das Pulver den günstigsten Effect aus.

Wie nämlich von Moll nachgewiesen, tritt bei einem Messer, das durch Abziehen auf dem Streichriemen oder auch durch Schleifen mit Wiener Kalk eine völlig glatte und spiegelnde Schneide erhalten hat, sobald man einigermaassen feine, etwa unter 5 μ dicke Schnitte anfertigen will, eine derartige Zusammenpressung oder Zusammenfältelung der Schnitte in der Richtung der Messerbewegung ein, dass jeder einzelne Schnitt in dieser Richtung nur ein Viertel oder weniger von den Dimensionen des Paraffinklotzes besitzt. Diese Zusammenpressung findet dagegen nicht statt, wenn die Messerschneide, wie bei der Behandlung mit dem oben bezeichneten Schleifpulver, ganz schwach rauh ist. In der That konnte ich auch mit Hilfe eines nach der Moll'schen Methode geschliffenen Messers Schnittserien von 1 μ erhalten, in denen die Schnitte kaum eine Spur von Fältelung zeigten.

Man verwendet übrigens diese Schleifmasse zweckmässig in der Weise, dass man eine nicht zu geringe Quantität derselben auf einer mattgeschliffenen völlig ebenen Platte von Spiegelglas mit Wasser zu einem dicken Brei anreibt und in diesem dann das Messer in kreisförmigen Zügen hin und her bewegt.

3. Die Herstellung der Schnitte.

§ 490. Für Freihandschnitte ist natürlich die Art der Messerhaltung von der grössten Bedeutung; dennoch verzichte ich darauf, die verschiedenen in dieser Hinsicht gegebenen Vorschriften zu besprechen. Es mag sich ja in dieser Beziehung allenfalls durch praktische Anleitung eine gewisse Förderung erzielen lassen, in der Hauptsache wird aber doch ein jeder darauf angewiesen sein, die seiner Handbildung und Gewohnheit am meisten entsprechende Art der Messerhaltung selbst auszuprobieren und sich allmählich die zum Freihandschneiden nöthige Fertigkeit zu erwerben.

Für die Praxis des Freihandschneidens ist jedoch als Regel festzuhalten, dass man das Messer nicht einfach in der Richtung senkrecht zur Schneide durch das zu schneidende Object hindurchführen darf, dass man dasselbe vielmehr in möglichst schräger Richtung durch den betreffenden Körper hindurchziehen muss. Die mechanische Bedeutung dieses „Ziehens“ des Messers leuchtet sofort ein, wenn man bedenkt, dass ein jedes Messer wie ein einfacher Keil wirkt und folglich umso leichter in den zu schneidenden Körper eindringt, je spitzer der Winkel

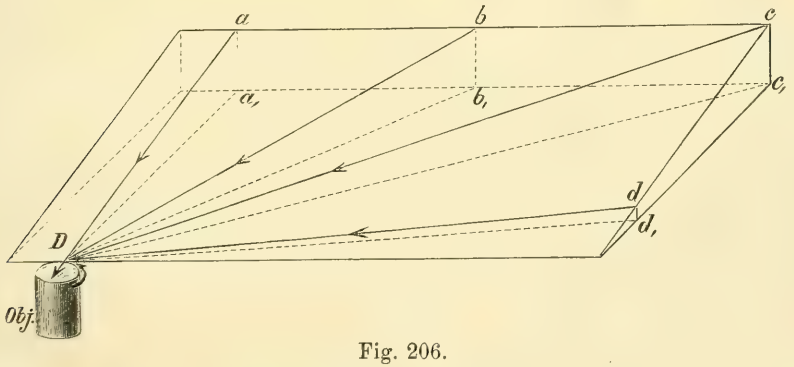


Fig. 206.

ist, den die beiden an der Schneide zusammenstossenden Flächen mit einander bilden. An der Hand der nach Schiefferdecker (V, 115) copierten Figur 206 ist nun ersichtlich, dass bei dem Schneiden des Objectes ein umso spitzwinkeligerer Keil in Wirksamkeit tritt, je grösser

die seitliche Bewegung des Messers ist. Offenbar wirkt dasselbe beim directen Aufpressen in der Richtung a D einfach mit dem Schneidenwinkel des zur Richtung der Schneide senkrechten Querschnittes a D a,; dahingegen treten bei dem Schneiden in den Richtungen b D, c D und d D die viel spitzeren Winkel b D b, (resp. c D c, und d D d,) in Wirksamkeit. Zu beachten ist hierbei ferner noch, dass beim Schneiden in der Richtung a D das Messer das zu schneidende Object direct von der Schneide abzubiegen bestrebt sein wird, während dasselbe beim Ziehen eine mehr tordierende Wirkung ausübt, wodurch namentlich bei weicheren Objecten das Gelingen der Schnitte viel weniger beeinträchtigt wird.

§ 491. Um ein Anhaften der Schnitte am Messer zu verhindern, ist es namentlich bei weichen Objecten für die meisten Fälle dringend anzurathen, die Messerklinge anzufeuchten, und zwar benützt man hierzu bei frischen Objecten im allgemeinen am zweckmässigsten Wasser, bei Alkoholmaterial aber Alkohol. Am einfachsten kann man in diese Flüssigkeiten die Klinge des Messers ganz hineintauchen. Von stärkeren Objecten, wie z. B. Holz, erhält man dagegen im allgemeinen mit trockenem Messer feinere Schnitte.

Objecte, die zu klein sind, um beim Schneiden einfach zwischen den Fingern gehalten werden zu können, kann man vielfach in der Weise in feine Schnitte zerlegen, dass man sie in einem kleinen Wassertropfen auf den Daumennagel der linken Hand bringt und dann durch eine hin- und herwiegende Bewegung des Messers in Schnitte zerlegt. Es gelingt so relativ leicht, von einreihigen Algenfäden, wie z. B. Spirogyra, Querschnitte zu erhalten.

§ 492. In vielen Fällen kann man auch von relativ kleinen Objecten durch „Schneiden zwischen den Fingern“ ganz bestimmt orientierte Schnitte erhalten. Man bringt dieselben zu diesem Zwecke zwischen den Daumen und Zeigefinger der linken Hand und zieht dann das Messer in möglichst senkrechter Lage zwischen den beiden Fingern durch das betreffende Object hindurch. Bei einiger Uebung gelingt es so, sehr zarte Objecte ganz ohne Druck in feine Schnitte zu zerlegen.

Schliesslich kann man nun aber auch beim Freihandschneiden die im nächsten Capitel beschriebenen Methoden des Einklemmens und Einbettens verwenden.

§ 493. Beim Mikrotomschneiden sind zunächst je nach der Messerstellung zwei verschiedene Arten des Schneidens zu unterscheiden: Bei dem „Schneiden mit quergestelltem Messer“, das namentlich bei Paraffinmaterial in Anwendung kommt, steht die Schneide des Messers genau senkrecht zur Bewegungsrichtung desselben, während sie beim „Schneiden mit schiefgestelltem Messer“ einen bald grösseren, bald kleineren Winkel mit der Bewegungsrichtung bildet. Die letztere

Art des Schneidens entspricht offenbar dem Ziehen des Messers beim Freihandschneiden (cf. § 490) und wird bei Celloidinmaterial ausnahmslos, unter Umständen aber auch bei Paraffinmaterial angewandt.

§ 494. Von besonderer Wichtigkeit für das Gelingen von Mikrotomschnitten ist es ferner, dass die Facetten der Messerschneide die richtige Orientierung besitzen. Dies ist nun aber dann der Fall, wenn die untere Facette, wie in der nach Schiefferdecker (V, 135) copierten Fig. 207, der Ebene (Gr. E), in der das Messer (M) bewegt wird, parallel läuft. Am ungünstigsten ist es dagegen, wenn die untere Facette, wie in dem in Fig. 208 dargestellten Falle, nach dem Rücken des Messers zu geneigt ist. Offenbar wird dann das Messer auf das unter ihm befindliche Object einen Druck ausüben müssen, der entweder ein Ausbiegen des Messers oder eine Verletzung des Paraffinklotzes zur Folge hat. Man beobachtet denn auch bei einer derartigen Messerstellung, dass die hintere Seite des Paraffinklotzes mehr oder weniger stark abbröckelt oder wenigstens seine Durchsichtigkeit verliert und weiss erscheint. Weniger schädlich ist es dagegen, wenn die untere Facette nach dem Rücken des Messers zu etwas ansteigt. Immerhin wird sich natürlich der gebildete Schnitt vom Messer umso mehr abbiegen müssen und folglich auch umso leichter aufrollen, je steiler die Facetten des Messers stehen.

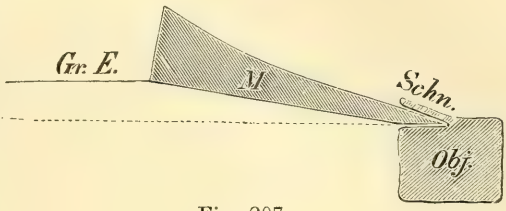


Fig. 207.

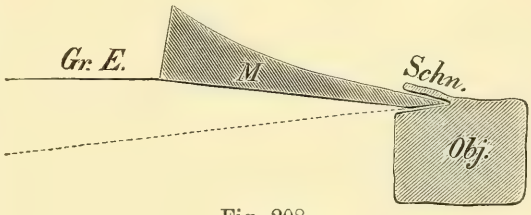


Fig. 208.

Man kann sich nun natürlich, wenn die untere Facette des Messers nicht in der richtigen Weise orientiert ist, in der Weise helfen, dass man zusammengefaltete Papierstreifen oder dergleichen an der Befestigungsstelle auf der vorderen oder hinteren Seite unter den Griff des Messers legt. Eine sehr allmähliche und sichere Regulierung der Messerorientierung lässt sich ferner mit Hilfe der Thoma'schen Correctionsplatten erreichen. Diese bestehen aus einem Metallcylinder, der durch einen schrägen Schnitt in zwei Platten zerlegt ist. Werden diese Platten gegeneinander gedreht, so tritt offenbar eine Neigungsänderung des Messers ein.

§ 495. Schliesslich will ich übrigens an dieser Stelle noch erwähnen, dass namentlich beim Schneiden von Paraffinmaterial auch die Temperatur eine Rolle spielt und dass man, wenn man bei warmer Temperatur sehr feine Schnitte erhalten will, gut thut, das Messer abzukühlen. Man kann dies z. B. in der Weise ausführen, dass man auf dem Messer unmittelbar vor dem Schneiden etwas Aether verdunsten lässt.

4. Das Einklemmen der zu schneidenden Objecte.

§ 496. Zum Einklemmen der zu schneidenden Objecte werden im allgemeinen Substanzen benutzt, die sich gut schneiden lassen, so dass sie gleichzeitig mit den eingeklemmten Objecten in feine Schnitte zerlegt werden können. Bei zarten Objecten ist es ferner nothwendig, dass dieselben beim Einklemmen möglichst wenig gepresst werden, und es empfiehlt sich auch aus anderen Gründen bei der Wahl der zum Einklemmen zu benutzenden Substanzen die Consistenz der zu schneidenden Objecte in erster Linie zu berücksichtigen.

Das Einklemmen spielt nun in erster Linie beim freihändigen Schneiden eine Rolle und kommt namentlich dann zur Anwendung, wenn die zu schneidenden Objecte zu klein sind, um direct mit den Fingern in der richtigen Orientierung gehalten werden zu können. Von den verschiedenen zum Einklemmen benutzten Substanzen dürften nun wohl Leber, Hollundermark und Flaschenkork die geeignetsten darstellen. Wir wollen uns denn auch auf eine kurze Besprechung der Anwendungsweise dieser 3 Substanzen beschränken.

§ 497. 1. Leber. In Alkohol gehärtete Leber wird namentlich beim Schneiden thierischer Objecte angewandt, und zwar wird menschliche Fett- oder Amyloidleber besonders empfohlen. Aus derselben werden Würfel von ca. 2 *cm* Kantenlänge hergestellt und direct in 90-proc. Alkohol geworfen, in dem sie nach ca. 5 Tagen die erwünschte Consistenz erlangen. Die Stücke werden dann von der Mitte der einen Seite her eingeschnitten und in die so gebildete Spalte das zu schneidende Object eingeklemmt. Nur wenn es sich um grössere Objecte handelt, bringt man eine entsprechende Rinne in der Klemmleber an.

§ 498. 2. Hollundermark. Das namentlich zum Einklemmen pflanzlicher Objecte benutzte Hollundermark stammt aus dicken Zweigen von Sambucus nigra und ist namentlich aus alten abgestorbenen Zweigen leicht in grossen Stücken zu isolieren. Uebrigens kann dasselbe auch in den Handlungen für Uhrmacherutensilien käuflich erworben werden. Vor der Benutzung hat man von den entsprechend zugeschnittenen Stücken alle am Rande noch etwa vorhandenen härteren Gewebe, und zwar ausser den Xylemresten namentlich auch die mit braunem Inhalt erfüllten

Schleimgänge, sorgfältig zu entfernen. Ausser zum Einklemmen bei Freihandschnitten kann man das Hollundermark übrigens auch dazu verwenden, um frische Pflanzentheile direct mit dem Mikrotom zu schneiden, und zwar muss man dann das Messer möglichst schief stellen.

§ 499. 3. Flaschenkork. Die zum Einklemmen mancher härterer Objecte sehr brauchbaren Korkplättchen kann man sich aus beliebigen Korkstücken leicht zurecht schneiden. Man hat hierbei nur darauf zu achten, dass in die Schnittfläche keine Theile von den dunkelbraunen harten Massen fallen, die alle Korke durchsetzen und die Klinge des Messers verletzen würden.

5. Die Einbettung der zu schneidenden Objecte.

§ 500. Die Einbettung findet im allgemeinen in der Weise statt, dass die zu schneidenden Objecte in eine flüssige Masse eingesenkt werden, die dann später durch Erkalten, Wasserverlust oder dergl. die zum Schneiden nöthige Consistenz erlangt. Während nun aber in den einfachsten Fällen nur eine äusserliche Umhüllung mit der Einbettungsmasse stattfindet, ist bei den meisten Objecten eine vollständige Durchtränkung mit derselben erforderlich, und zwar werden dann nicht nur die groben Hohlräume der zu schneidenden Objecte, sondern auch alle im lebenden Organismus von wässerigen Lösungen erfüllten Theile derselben von dem Einbettungsmittel vollständig erfüllt. Dasselbe durchtränkt ferner auch alle vorher mit Wasser imbibierten Bestandtheile des Plasmakörpers und der Zellmembran, so dass das zu schneidende Object und das Einbettungsmittel eine vollständig oder wenigstens annähernd homogene Masse darstellen.

Zu der mit vollständiger Durchtränkung verbundenen Einbettung sind nun namentlich Paraffin und Celloidin geeignet, und es dürften diese auch unzweifelhaft für das Mikrotomschneiden die geeignetsten Einbettungsmittel darstellen. Von den anderen empfohlenen Einbettungsmitteln will ich noch das Gummi arabicum und die Glyceringelatine erwähnen, die in erster Linie zur einfachen Umhüllung beim Freihandschneiden geeignet sind. Die anderen Einbettungsmittel, wie Seife, Cacaobutter, Eiweiss etc., scheinen mir den 4 genannten gegenüber keine wesentlichen Vortheile zu bieten und verzichte ich deshalb auch darauf, auf die Anwendungsweise derselben näher einzugehen.

§ 501. 1. Gummi arabicum. Dasselbe wurde bisher namentlich beim Freihandschneiden zur Einbettung sehr kleiner Objecte, wie Pollenkörner, Flechtenthallome etc., angewandt. Man bringt zu diesem Zwecke auf einen Holzspan oder auf ein Korkstückchen einen Tropfen der con-

centrierten Gummilösung und verrührt in diesem die zu schneidenden Objecte. Sobald die Gummimasse durch Austrocknen die gewünschte Consistenz erlangt hat, werden durch dieselbe Schnitte geführt. Um aus diesen schliesslich das Einbettungsmittel wieder zu entfernen, braucht man dieselben nur in Wasser zu legen.

Bei nicht allzu harten Objecten empfiehlt es sich übrigens, der zur Einbettung benutzten Gummilösung etwas Glycerin zuzusetzen.

§ 502. 2. Glyceringelatine. Glyceringelatine, die man z. B. nach der in § 537 gegebenen Vorschrift anfertigen kann, wurde sowohl beim Freihandschneiden als auch beim Mikrotomschneiden gelegentlich als Einbettungsmittel angewandt. Sie wird vor dem Eintragen der zu schneidenden Objecte bis zur Verflüssigung erwärmt und nach dem Erkalten geschnitten. Eventuell kann sie auch noch durch Uebertragung in verdünnten Alkokol gehärtet werden. Will man Objecte mit grossen Hohlräumen, z. B. ganze Blütenknospen, in dieser Weise schneiden, so empfiehlt es sich, wenigstens die grossen Höhlungen zuvor mit dem Einbettungsmittel zu injicieren, was ja z. B. mit Hilfe einer Wasserstrahlpumpe leicht ausgeführt werden kann. Es gelingt bei diesem Material relativ leicht, Schnitte zu erhalten, in denen die Anordnung der einzelnen Theile vollkommen erhalten bleibt, auch wenn sie beim Schneiden vollständig voneinander getrennt werden.

§ 503. 3. Paraffin. Das Paraffin findet beim Mikrotomschneiden die ausgedehnteste Anwendung, und zwar findet hierbei im allgemeinen eine vollständige Durchtränkung der zu schneidenden Gegenstände statt. Wir wollen denn auch mit der Besprechung der zu diesem Zwecke dienenden Technik beginnen.

Die Präparation der zur Einbettung bestimmten Objecte beginnt im allgemeinen mit einer entsprechenden Fixierung (cf. § 433); nur in solchen Fällen, in denen man auf die Erhaltung der Protoplasten keinen Wert legt, wenn man z. B. nur das Membrangerüst der betreffenden Objecte studieren will, kann man die Fixierung ganz entbehren und eventuell auch zunächst mit Kalilauge, Eau de Javelle oder dergl. die plasmatischen Bestandtheile der Zellen ganz entfernen.

§ 504. Nach der Fixierung und dem wenigstens in den meisten Fällen erforderlichen gründlichen Auswaschen des Fixierungsmittels kann nun entweder gleich noch eine Durchfärbung (cf. § 454) der betreffenden Objecte stattfinden, oder es folgt sofort die Entwässerung, falls man nicht bereits ein wasserfreies Fixierungsmittel, wie z. B. Alkohol, angewandt hat. Zur Entwässerung benutzt man nun fast ausschliesslich absoluten Alkohol, und zwar bei zarten Objecten zur Vermeidung von Schrumpfungen unter Anwendung einer der in § 407—409 angeführten Vorsichtsmaassregeln. Im allgemeinen genügt es aber, wenn man 50-proc.

Alkohol zwischen Wasser und absolutem Alkohol einschaltet. Die Länge der zur vollständigen Entwässerung erforderlichen Zeitdauer richtet sich natürlich ganz nach der Grösse und sonstigen Beschaffenheit der betreffenden Objecte. Im allgemeinen ist aber ein 24-stündiger Aufenthalt in dem absoluten Alkohol jedenfalls ausreichend. Bei grösseren Stücken ist ferner zur Entfernung des aus denselben austretenden Wassers eine einmalige oder wiederholte Erneuerung des Alkohols erforderlich.

§ 505. Da nun aber das Paraffin in Alkohol sehr wenig löslich ist, muss zwischen diesen beiden Substanzen noch eine weitere mit Paraffin mischbare Flüssigkeit eingeschaltet werden. Ich verwende zu diesem Zwecke seit langer Zeit mit bestem Erfolg Xylol. Da sich nun aber auch Xylol und Alkohol nicht in jedem Verhältnis mischen, würde eine directe Uebertragung aus dem Alkohol in Xylol nicht zum Ziele führen. Dahingegen erhält man eine vollständige Durchtränkung mit Xylol, wenn man die betreffenden Objecte zunächst in ein Gemisch von 3 Volum Xylol und 1 Volum Alkohol einträgt und erst, nachdem sie von diesem vollkommen durchdrungen sind, in reines Xylol bringt. Ob in diesem eine vollständige Durchtränkung stattgefunden hat, kann man wohl am besten daran erkennen, dass die betreffenden Objecte, wenn dies der Fall ist, vollkommen durchsichtig sind und auf dunkler Unterlage nicht mehr weiss aussehen.

§ 506. Bevor ich nun aber zur Besprechung der weiteren Uebertragung in Paraffin übergehe, will ich noch erwähnen, dass verschiedene Autoren an Stelle von Xylol verschiedenartige andere Substanzen, wie Chloroform, Terpentinöl, Toluol und Bergamottöl empfohlen haben. Die Anwendungsweise derselben ist im wesentlichen die gleiche wie beim Xylol. Gewisse Vortheile scheint von diesen Substanzen für sehr empfindliche Objecte das Bergamottöl zu besitzen, bei dem eine Schrumpfung der Objecte ganz unterbleiben soll. Rosen (I), der dasselbe speciell auch für pflanzliche Objecte empfiehlt, bringt diese aus dem Alkohol zunächst in ein Gemisch von gleichen Volumen Alkohol und Bergamottöl und aus diesem dann in reines Bergamottöl.

§ 507. Bei der schliesslichen Durchtränkung mit Paraffin ist es nun natürlich nothwendig, das Paraffin durch Erwärmung zu verflüssigen und auch bis zur vollständigen Durchtränkung flüssig zu halten. Da aber ferner ein allzustarkes Erwärmen die Schnittfähigkeit der betreffenden Objecte beeinträchtigen würde, ist es nothwendig, dass hierbei die Schmelztemperatur des Paraffins möglichst wenig überschritten wird. Man hat deshalb verschiedene mit genauer Wärmeregulierung versehene Apparate, sogenannte Paraffinöfen, construiert.

Am einfachsten erreicht man nun wohl den besagten Zweck mit Hilfe eines gewöhnlichen doppelwandigen Trockenschrankes, dessen

Mantel mit Paraffinum liquidum oder dergl. gefüllt ist. In dieses ragt ein Desaga'scher Thermostat hinein, der auf eine etwa 2 Grade oberhalb des Schmelzpunktes des benutzten Paraffins liegende Temperatur eingestellt wird.

§ 508. Sehr zweckmässig ist ferner auch der von Rosen (I) empfohlene Paraffinofen. Derselbe besteht, wie die Figuren 209 und 210 erkennen lassen, aus drei verschiedenen Abtheilungen, dem durch Eisenblech begrenzten Heizraum (A), dem mit doppelter Wandung aus Kupferblech versehenen mittleren Raume B und dem oberen Theile C, der ohne Boden direct auf dem mittleren Kasten steht und, abgesehen von den aus

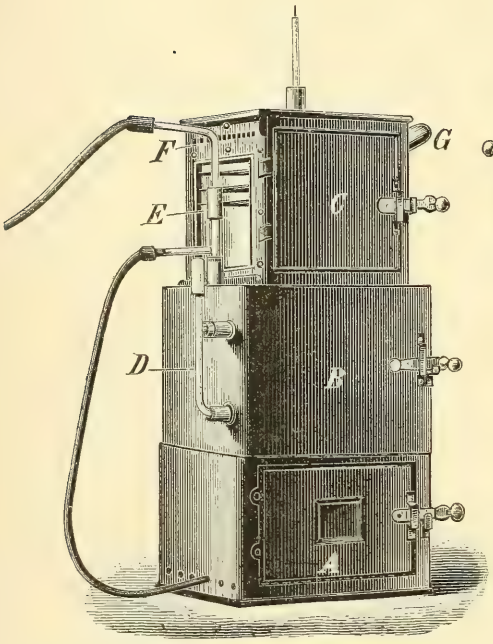


Fig. 209.

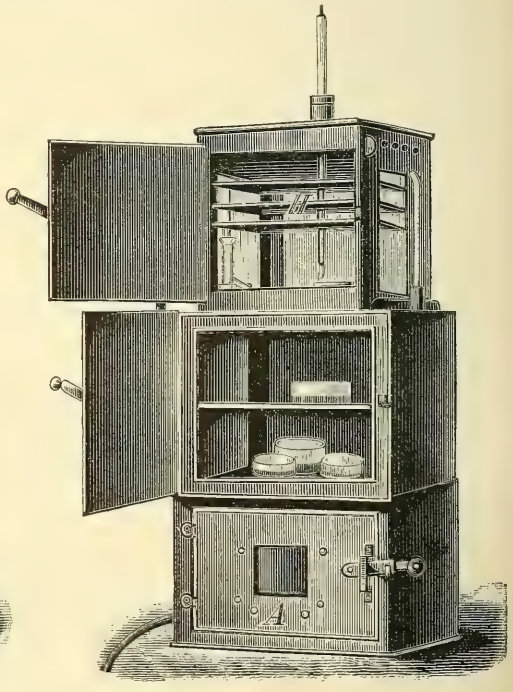


Fig. 210.

Glas gebildeten Seitenwänden, aus Eisenblech angefertigt ist. Der Raum zwischen den Wandungen des Kastens B wird nun mit Wasser gefüllt, dessen Stand an dem Rohre D abgelesen werden kann. In dies Wasser taucht ferner der Thermoregulator E, der den Gaszufluss zu der Flamme so reguliert, dass die Temperatur des Wassers und somit auch die des von demselben umschlossenen Raumes nur wenig über dem Schmelzpunkt des Paraffins liegt. Der obere Kasten C dient dagegen zur Erzeugung niederer Wärmegrade, und zwar kann die in demselben herrschende Temperatur durch die bei F befindlichen Löcher, die durch den bei G

sichtbaren Schieber beliebig weit geöffnet werden können, reguliert werden. Mittlere Temperaturen können schliesslich dadurch erzeugt werden, dass auf den Boden des Raumes C, der natürlich annähernd die Temperatur des den Raum B umgebenden Wassers besitzt, eine entsprechend dicke Papphorde gelegt wird, die aus dünnen Pappscheiben und dazwischen befindlichen Pappstreifen zusammengesetzt ist.

§ 509. Schliesslich erwähne ich an dieser Stelle noch das von P. Mayer (I) beschriebene sogenannte Neapeler Wasserbad (Fig. 211), das von R. Jung (Heidelberg) zu beziehen ist. Dasselbe wird durch den bei r gesondert abgebildeten Bunsen'schen Brenner geheizt. Bei diesem geschieht die Mengung von Gas und Luft in einem horizontalen Rohre,

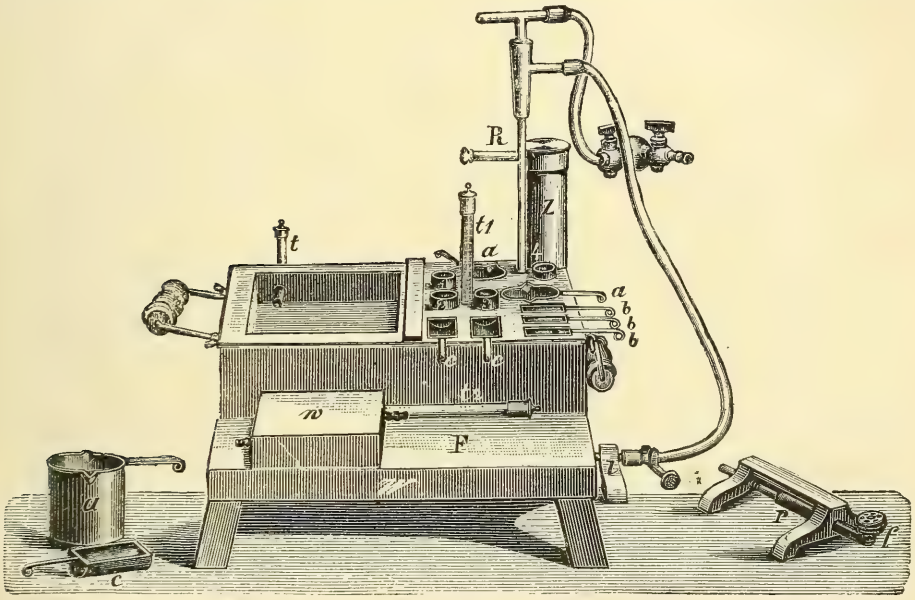


Fig. 211.

das an einem Ende einen kurzen senkrechten Ansatz mit kleinem Schornstein (f) aus Glimmer trägt. Zur Füllung des Bades empfiehlt P. Mayer destilliertes Wasser, das durch den cylinderförmigen Aufsatz in den Kasten eingefüllt wird, wobei derselbe, damit alle Luft aus dem Rohre Z entweichen kann, entsprechend schräg zu halten ist. Nach dem Einfüllen des Wassers wird der Aufsatz Z mit dem zugehörigen Deckel bedeckt.

Mit Hilfe des Kastens werden nun zunächst drei verschiedene Arten von Gefässen erwärmt: erstens tiefe Schmelzgefässe (a), die dazu dienen, Paraffin vorräthig geschmolzen zu halten, damit es sich in Ruhe klären kann, zweitens Halbcylinder von verschiedenen Grössen (b und c)

und schliesslich Glascylinder (1—4). Grössere Schalen etc. können ferner in dem auf der linken Seite der Fig. 211 sichtbaren Luftbade, dessen Temperatur, wenn es unbedeckt ist, etwa 10° niedriger liegt als die des Wasserbades, untergebracht werden. Will man in diesem Raume eine sehr allmähliche Verdunstung von Xylol, Chloroform oder dergl. bewirken, so hat man nur nöthig, das betreffende Gefäss in dem Luftbade so aufzustellen, dass es das Metall nirgends direct berührt, also etwa auf einem Korkringe. Wird dagegen das Luftbad mit einem Glasdeckel geschlossen, so erreicht es im Inneren allmählich nahezu die Temperatur des Wasserbades.

Das kleine Wasserbad (w) dient zum Einbetten unter der Lupe oder dem Simplex. Dasselbe wird zu diesem Zwecke mit Hilfe zweier an den beiden seitlichen Oeffnungen angebrachter Kautschukschläuche mit Wasser gefüllt und dann auf der Plattform (F) oder im Luftbade erwärmt. Auf die obere Fläche von w bringt man dann das die zu orientierenden Objecte enthaltende Uhrgläschen. Ist die Orientierung vollendet, so lässt man das warme Wasser in w abfliessen und leitet schnell kaltes Wasser durch, so dass die Abkühlung des Paraffins sehr schnell erfolgt, ohne dass die geringste Erschütterung damit verbunden wäre.

Die Regulierung der Wärme des Wasserbades geschieht mit Hilfe des Thermoregulators (R) und des bei b befindlichen Quetschhahnes. Die Temperaturen der verschiedenen Theile können an den Thermometern t, t_1 und t_2 abgelesen werden.

§ 510. Wichtig für den Ausfall der Schnitte ist nun natürlich auch die Beschaffenheit des zur Einbettung benutzten Paraffins, und zwar besteht zwischen den verschiedenen Paraffinsorten eine derartige Beziehung zwischen dem Schmelzpunkt und der Härte derselben, dass die härteren Sorten den höheren Schmelzpunkt besitzen. Handelt es sich nun darum, möglichst feine Schnitte zu erhalten, so ist entschieden die Benutzung von hartem, etwa bei 58° schmelzendem Paraffin anzuempfehlen. Wenn es dagegen mehr auf Grösse als auf geringe Dicke der Schnitte ankommt, so verwendet man zweckmässig weicheres Paraffin. Man kann dem härteren Paraffin dann auch eine gewisse Menge von dem sogenannten überhitzten Paraffin zusetzen; die in ein derartiges Gemisch eingebetteten Objecte zeigen den Vortheil, das die aus demselben angefertigten Schnitte auch bei erheblicher Schnittdicke ein bedeutend geringeres Bestreben zur Aufrollung zeigen, als bei der Einbettung in unvermischtes hartes Paraffin.

Man kann dies überhitzte Paraffin in der Weise bereiten, dass man gewöhnliches Paraffin in offener Schale 1—6 Stunden erhitzt, bis es unter Entwicklung unangenehmer weisser Dämpfe, geringer Reduction seines Volumens und Erhöhung seines Schmelzpunktes eine braungelbe,

dem gelben Wachs ähnliche Farbe angenommen hat. Uebrigens kann man derartiges überhitztes Paraffin auch direct von Grübler (Leipzig) beziehen.

Zu warnen ist vor dem Gebrauch von Paraffinen, deren Schmelzpunkt durch Zusatz von Paraffinum liquidum herabgesetzt ist.

§ 511. Die Uebertragung aus dem Xylol (Toluol, Bergamottöl oder dergl.) in Paraffin würde nun bei fast allen Objecten mit ganz bedeutenden Schrumpfungen verbunden sein, wenn man die Objecte aus dem Xylol direct in das geschmolzene Paraffin hineinbringen wollte. Derartige Schrumpfungen werden aber schon bis zu einem gewissen Grade verhindert, wenn man die Objecte aus dem Xylol zunächst in eine etwa in der Kälte gesättigte Lösung von Paraffin in Xylol und dann aus dieser in reines Paraffin überträgt.

Bei einigermaassen empfindlichen Objecten führe ich aber seit längerer Zeit diese Uebertragung in der Weise aus, dass ich in ein sogenanntes Vogelnäpfchen ein Gemisch von Xylol und Paraffin bringe, das bei gewöhnlicher Temperatur ganz fest ist oder wenigstens breiartige Consistenz besitzt. Auf genaue Einhaltung eines bestimmten Mischungsverhältnisses kommt es hier übrigens nicht an. Auf dies erkaltete und also feste Paraffin-Xylolgemisch bringe ich dann die mit Xylol durchtränkten Objecte und giesse soviel reines Xylol darauf, dass dieselben sämmtlich von der Flüssigkeit bedeckt werden. Sodann stelle ich die Näpfchen unbedeckt auf die obere Fläche des Paraffinofens, auf dem dann das Paraffin-Xylolgemisch allmählich schmilzt, so dass die mit Xylol durchtränkten Objecte in dasselbe heruntersinken können. Durch die allmähliche Verdunstung des Xylols wird dann noch eine weitere Concentration des Xylol-Paraffins herbeigeführt. Schliesslich übertrage ich dann die Objecte in reines Paraffin, das im Inneren des Paraffinofens längere Zeit auf einer den Schmelzpunkt desselben um wenige Grade übertreffenden Temperatur gehalten wird.

§ 512. Die Länge des Aufenthaltes in dem flüssigen Paraffin richtet sich natürlich nach der Grösse und sonstigen Beschaffenheit der einzubettenden Objecte. Es ist jedoch zu beachten, dass dieselbe bei thierischen Objecten stets möglichst kurz zu nehmen ist, da diese durch längeren Aufenthalt in dem Paraffin ihre Schneidfähigkeit häufig gänzlich einbüssen. Pflanzliche Objecte sind dagegen in dieser Beziehung weniger empfindlich und lasse ich dieselben im allgemeinen 24 Stunden in dem Paraffin liegen.

Erwähnen will ich übrigens noch, dass Rosen (I) die mit Bergamottöl durchtränkten Objecte zunächst in ein Gemisch von gleichen Volumen Bergamottöl und weichem Paraffin (Schmelzpunkt 45°), das am Boden des oberen Kastens (cf. Fig. 209, C) seines Paraffinofens auf 48° erhitzt wird, dann in reines Paraffin von der gleichen Beschaffenheit und schliesslich in Paraffin vom Schmelzpunkt 56—58° überträgt.

§ 513. Um nun schliesslich die mit Paraffin völlig durchtränkten Objecte in einen zum Schneiden geeigneten Paraffinklotz zu bringen, verfährt man zweckmässig in der Weise, dass man zunächst in ein sorgfältig gereinigtes Uhrglas von ca. 60 *cm* Durchmesser einen Tropfen Glycerin bringt und denselben dann mit einem Tuche auf der Innenfläche des Uhrgläschens derartig verreibt, dass nichts mehr von dem Glycerin zu sehen ist. Es hat dies den Zweck die nachherige Loslösung des Paraffins von dem Uhrgläschen zu erleichtern.

Sodann wird das Uhrgläschen etwas erwärmt und mit geschmolzenem Paraffin gefüllt. Ist dieses bis nahe an den Schmelzpunkt erkaltet, was man daran erkennt, dass das Paraffin bei leichtem Anblasen am Rande erstarrt, so bringt man die einzuschmelzenden Objecte in dasselbe hinein und orientiert dieselben mit erhitzten Nadeln derartig, dass man nachher aus der erstarrten Masse geeignete Paraffinklötze schneiden kann.

Um nun aber die Krystallbildung innerhalb des erkaltenden Paraffins möglichst zu verhindern, ist es zweckmässig, dasselbe so schnell als möglich abzukühlen; dies wird am besten dadurch erreicht, dass man die Uhrgläschen, sobald man die Objecte orientiert hat, auf ein grosses Gefäss mit kaltem Wasser bringt, auf dem sie bei vorsichtigem Aufsetzen leicht zum Schwimmen zu bringen sind.

Ist das Paraffin in dieser Weise völlig erkaltet, so lässt es sich leicht von dem Uhrgläschen loslösen und wird dann in ca. 2—3 *cm* lange rechteckige Klötze zerlegt, an deren einem Ende sich das zu schneidende Object befindet, während das andere direct in den Objecthalter des Mikrotoms eingespannt wird. Zuvor wird aber der Paraffinklotz an dem Objectende noch derartig zugespitzt, dass das Object zwar ganz in Paraffin eingehüllt bleibt, dass die Schnittfläche aber möglichst klein und rechteckig wird. Beim Schneiden ist dieses Rechteck so zu orientieren, dass zwei Seiten desselben der Schneide des senkrecht zur Bewegungsrichtung gestellten Mikrotommessers parallel laufen.

§ 514. Ausserdem kann man die Paraffinklötze aber auch auf parallelepipedische Korkstückchen oder auf das zu diesem Zwecke bestimmte Paraffintischchen aufschmelzen. In letzterem Falle verfährt man zweckmässig in der Weise, dass man zunächst das Paraffintischchen in der Bunsenflamme soweit erwärmt, dass der damit in Berührung kommende Paraffinblock sofort schmilzt. Um dann aber dies Schmelzen auf die zum Anschmelzen bestimmte untere Partie des Paraffinklotzes zu beschränken, bringt man denselben dicht über der Oberfläche einer grossen mit kaltem Wasser gefüllten Schale mit dem Paraffintischchen in Berührung und taucht sie dann sofort unter leichtem Andrücken in das kalte Wasser. In ganz kurzer Zeit ist dann das Paraffin soweit erstarrt, das es mit dem Mikrotom geschnitten werden kann.

§ 515. Da die in dieser Weise in Paraffin eingebetteten Objecte jedenfalls auf lange Zeit ihre Schneidfähigkeit bewahren, empfiehlt es sich natürlich, die nicht benutzten Klötze für spätere Verwendung aufzuheben. Von Schröter (Leipzig) wurden denn auch besonders zu diesem Zwecke bestimmte Kästen construiert, die 100 verschiedene Paraffinklötze aufzunehmen vermögen. Recht geeignet fand ich zu diesem Zwecke übrigens auch die gewöhnlichen Kästen der schwedischen Streichhölzer.

§ 516. Ausser dieser mit vollständiger Durchtränkung verbundenen Einbettung in Paraffin kann nun übrigens vielfach auch eine einfache Umhüllung mit demselben gute Dienste leisten. So kann man dieselbe namentlich beim Freihandschneiden häufig mit Erfolg anwenden, wenn es sich um sehr kleine harte Objecte, wie z. B. Samen, handelt. Man bringt dieselben entweder direct, oder, um eine vollständigere Benetzung zu erzielen, nach kurzem Einlegen in Alkohol in einen Tropfen des erwärmten Paraffins und entfernt von den nach dem Erkalten angefertigten Schnitten das Paraffin eventuell durch Xylol oder dergl.

§ 517. Von J. af Klercker (II) wurde ferner eine einfache Umhüllung mit Paraffin auch für das Mikrotomschneiden empfohlen, und zwar werden dann direct die lebenden Objecte in dasselbe eingebettet. Man verwendet in diesem Falle am zweckmässigsten möglichst weiches Paraffin, das etwa einen Schmelzpunkt von 36—40° C besitzt und giesst dasselbe nach dem Schmelzen in ein mit Glycerin eingeriebenes Uhrgläschen, das man dann durch Aufsetzen auf kaltes Wasser von unten her abkühlt. Beginnt nun das Paraffin am Boden fest zu werden, so wirft man die zu schneidenden Objecte in dasselbe hinein und orientiert sie dann in entsprechender Weise.

Objecte, die sich beim Schneiden leicht vom Paraffin loslösen würden, kann man auch mit feinen Drähten durchstechen, so dass sie in der Paraffinmasse gleichsam verankert werden. Die nach dem vollständigen Erkalten vom Uhrgläschen losgelöste Paraffinmasse wird dann zweckmässig in Klötze zerschnitten, die direct in die Klemme des Mikrotoms eingespannt werden können und dann mit möglichst schiefgestelltem, mit Alkohol oder Wasser benetztem Messer geschnitten werden.

Bei den so erhaltenen Schnitten findet nun gewöhnlich schon auf dem Messer eine Trennung von dem umgebenden Paraffin statt. Am einfachsten erhält man aber eine vollständige Trennung, wenn man die gesammte auf dem Messer schwimmende Masse von Paraffin- und Pflanzenschnitten in einen Wasser oder eine indifferente Salpeterlösung oder dergl. enthaltenden Trichter bringt, an dessen unterem Ende sich ein Hahn oder ein mit Quetschhahn verschlossener weiter Kautschukschlauch befindet. Auf dieses Wasser schichtet man dann etwas Xylol, in dem

sich das Paraffin bei einigem Schütteln vollständig auflöst, während die Pflanzenschnitte zu Boden sinken und durch Oeffnen des Hahnes leicht isoliert aufgefangen werden können.

§ 518. 4. Celloidin. Das Celloidin findet bei der Untersuchung thierischer Objecte vielfach Anwendung; für pflanzliche Objecte scheint es aber bedeutend weniger geeignet zu sein als das Paraffin und wird auch z. B. von L. Koch (I), der speciell über die Anwendbarkeit des Celloidins zahlreiche Versuche angestellt hat, nur für jugendliche und mit grossen Intercellularräumen versehene Organe empfohlen, da diese bei der Celloidineinbettung bedeutend weniger leicht Schrumpfungen zeigen sollen als bei der Einbettung in Paraffin. Ein wesentlicher Nachtheil der Celloidinmethode besteht aber jedenfalls darin, das sie weniger feine Schnitte zu liefern vermag als die Paraffinmethode.

§ 519. Der Einbettung in Celloidin geht nun ebenso wie derjenigen in Paraffin eine Entwässerung der einzubettenden Objecte voraus, und zwar wurde neuerdings von Elschnig (I) darauf hingewiesen, dass die spätere Schneidfähigkeit stark dadurch beeinträchtigt werden kann, wenn diese Entwässerung keine vollständige ist, oder wenn die benutzten Celloidinlösungen nicht vollständig wasserfrei sind. Man wird deshalb den zur definitiven Entwässerung der Objecte zu benutzenden Alkohol zweckmässig durch geglühtes Kupfersulfat vollkommen entwässern und benutzt derartigen Alkohol auch bei der Darstellung der verschiedenen Celloidinlösungen.

Diese bereitet man sich nun nach Elschnig am zweckmässigsten in der Weise, dass man das in Tafelform käufliche Celloidin in cubische Stückchen von ca. 5 *mm* Kantenlänge zerschneidet und erst zwischen Fliesspapier bei Zimmertemperatur und dann im Trockenschranke trocknet, bis es eine nahezu hornähnliche Beschaffenheit erlangt hat. Diese Würfel werden dann in einer luftdicht verschliessbaren Flasche mit soviel wasserfreiem Alkohol übergossen, dass sie von demselben gut bedeckt sind. Sie verbleiben in diesem 24 Stunden und werden während dieser Zeit wiederholt gut geschüttelt. Es wird hierdurch eine gleichmässige Quellung der Celloidinwürfel erreicht und, wenn dann eine dem vorher zugesetzten Alkohol an Volum gleiche Menge von Aether zugesetzt wird, so löst sich schon bei leichtem Schütteln das gequollene Celloidin in kurzer Zeit vollständig auf. Um dünnflüssigere Lösungen zu erhalten, hat man dann schliesslich nur noch nöthig, eine weitere Menge von Aether-Alkohol zuzusetzen.

§ 520. Der Uebertragung in die so erhaltene Celloidinlösung geht nun aber eine Durchtränkung mit einem Gemisch von gleichen Volumen Alkohol und Aether voraus. Aus diesem werden dann die Objecte in dünnflüssige, etwa 5-proc. Celloidinlösung übertragen, und zwar lässt man

sie in dieser zunächst so lange unter möglichst hermetischem Abschluss, bis eine vollständige Durchtränkung der Präparate mit der Celloidinlösung stattgefunden hat.

Für diesen Zweck ist bei thierischen Objecten, die nicht abnorm gross sind, ein ein- oder zweitägiges Verweilen in der Celloidinlösung im allgemeinen ausreichend. Für pflanzliche Objecte ist dagegen eine viel längere Zeit (mehrere Wochen oder gar Monate) erforderlich.

Sind nun die betreffenden Objecte mit dem verdünnten Celloidin in ausreichender Weise durchtränkt, so kann man entweder direct durch Lockerung des Verschlusses eine Verdunstung des Aether-Alkohols und damit eine Concentrierung der Celloidinlösung bewirken, oder man giesst die verdünnte Lösung ab und ersetzt dieselbe durch eine concentriertere, die man sich dann allmählich bis zur Syrupconsistenz eindicken lässt. Man kann sich zu diesem Zwecke z. B. weithalsiger Glasflaschen bedienen, die man in der ersten Zeit mit gut schliessenden Korkstopfen verschlossen hält, während man später durch Anwendung weniger gut schliessender Glasstopfen eine schwache und eventuell dadurch, dass man einen oder mehrere Papierstreifen zwischen Stopfen und Flaschenhals einschaltet, eine stärkere Verdunstung erhalten kann.

Sind die Objecte in dieser Weise mit der concentrierten Celloidinlösung durchtränkt, so kann man dieselben z. B. in der Weise in zum Schneiden geeignete Celloidinblöcke einschliessen, dass man an dem einen Ende eines aus Holz oder Hollundermark*) bestehenden Cylinders einen Streifen Schreibpapier mit Hilfe einer Heftzwecke oder dergl. derartig befestigt, dass der überstehende Rand des Papieres einen cylinderförmigen Raum begrenzt, der nach unten von dem Holzklötzchen abgeschlossen wird. In diesen Raum wird dann die dickflüssige Celloidinmasse nebst den durchtränkten Objecten eingetragen, wobei die Entstehung von Luftblasen möglichst zu verhindern ist. Die trotz aller Vorsicht etwa entstehenden Luftblasen kann man eventuell nach der von Busse (I) vorgeschlagenen Methode entfernen, indem man die Kästchen in eine Krystallisierschale bringt, an deren Boden sich etwas Aether befindet. Wird dieselbe dann mit einer Glasplatte bedeckt, so löst der in der Schale sich verbreitende Aetherdampf das auf der Oberfläche des Celloidins gebildete Häutchen wieder auf und verhindert die Entstehung eines neuen, andererseits wird die Erhärtung der Celloidinflüssigkeit solange verzögert, bis sämmtliche Luftblasen entwichen sind. Man kann so auch mit Leichtigkeit die entsprechende Orientierung der zu schneidenden

*) Die ebenfalls zu diesem Zwecke vielfach verwandten Korke sind deswegen weniger geeignet, weil sich bei Anwendung derselben der zur Härtung benutzte Alkohol allmählich bräunt und der betreffende Farbstoff auch in das Celloidin eindringt.

Objecte bewirken. Ist dies geschehen und keine Luftblasen mehr vorhanden, so wird der Deckel der Schale etwas gelüftet, um den Aetherdämpfen ein allmähliches Entweichen zu ermöglichen. Ist die Verdunstung soweit vorgeschritten, dass ein Druck der Fingerspitze auf der Oberfläche des Celloidins keine bleibenden Spuren mehr hinterlässt, so wird das Ganze mit verdünntem Alkohol übergossen, und zwar wird man dann die Holzstücke, um sie zum Untersinken zu bringen, zweckmässig mit einem Bleiklumpen oder dergl. beschweren.

Ueber die Concentration des zu diesem Zwecke zu benutzenden Alkohols hat Busse (II) einige Versuche angestellt, bei denen sich ein solcher von 85 Proc. als am meisten geeignet erwies. In diesem Alkohol erlangen die Objecte in 24 Stunden die zum Schneiden nöthige Härte, können aber auch beliebig lange in demselben conserviert werden.

§ 521. Will man zahlreiche Objecte gleichzeitig in Celloidin einschmelzen, so kann man zur definitiven Einbettung auch längliche Kästchen aus Schreibpapier durch Zusammenkleben mit Gummi arabicum herstellen. In diesen bringt man ganz in der oben geschilderten Weise das Celloidin zum Erstarren, nachdem man zuvor im Aetherdampf die Luftblasen entfernt und die Objecte entsprechend orientiert hat. Die die einzelnen Objecte enthaltenden Celloidinblöcke kann man dann entweder so zuschneiden, dass sie direct oder nach Umhüllung mit Hollundermark, Leber oder dergl. in den Objecthalter des Mikrotoms eingeklemmt werden können, oder man befestigt dieselben auf einem entsprechenden Holzcylinder. Man kann hierbei zweckmässig nach der von Schiefferdecker (V, 181) empfohlenen Methode verfahren und bringt zunächst auf die Oberfläche des Holzcylinders eine Schicht Celloidin, lässt diese eintrocknen, trocknet dann die untere Fläche des Celloidinblockes ab, erweicht dieselbe durch Bestreichen mit einem mit Aether befeuchteten Pinsel, erweicht darauf die Celloidinschicht auf dem Holzcylinder in der gleichen Weise, drückt die beiden Theile aufeinander, umgiesst mit dicker Celloidinlösung und bringt das ganze schliesslich zum Erhärten in den verdünnten Alkohol zurück.

§ 522. Schliesslich will ich an dieser Stelle noch eine etwas abweichende von Apathy (I) und Elschnig (1) empfohlene Einbettungsmethode besprechen. Nach dieser werden die mit Aether-Alkohol durchtränkten Objecte in eine mit der dünnflüssigen Celloidinlösung gefüllte, mit aufgeschliffenem Deckel versehene Schale gebracht, die dann noch auf eine zweite Glasplatte gestellt und mit einer mit abgeschliffenem Rande versehenen Glasglocke bedeckt wird. Um den Verschluss möglichst vollständig zu machen, werden ferner sowohl die Glasplatten als auch der untere Rand der Glasglocke mit dünnflüssiger Celloidinlösung benetzt. Nach einiger Zeit (etwa 24 Stunden) werden dann alle den Objecten

etwa anhaftenden Luftblasen mit Hilfe einer mit verdünnter Celloidinlösung befeuchteten Nadel sorgfältig entfernt. Darauf wird eine ganz allmähliche Verdunstung dadurch herbeigeführt, dass die Schale einfach mit trockener Glasplatte und Glasglocke bedeckt wird. Nach mehreren Tagen, wenn das Celloidin bei Berührung mit dem Finger nicht mehr klebt, wird die Glasschale in 85-proc. Alkohol gestellt, nach 24 Stunden der Celloidinblock durch Beschneiden der Randtheile gelockert, aus der Schale gehoben und in frischen 85-proc. Alkohol übertragen. Nach 24 Stunden sollen dann auch grössere Objecte ausgezeichnet schnittfähig sein.

Erwähnen will ich schliesslich noch, dass man zur Bezeichnung der Celloidinblocke bestimmte Bemerkungen vor dem Eingiessen der Celloidinlösung mit einem Faber'schen Oelstifte auf den Boden der benutzten Schale schreiben kann, die Schrift wird dann vollständig auf die Celloidinmasse übertragen und bleibt auf dieser nach dem Herausnehmen aus der Schale fest haften.

§ 523. Bezüglich des Schneidens der Celloidinblöcke bemerke ich, dass dasselbe stets mit schiefgestelltem Messer auszuführen ist. Ferner ist sowohl die Schnittfläche als auch das Messer mit verdünntem Alkohol anzufeuchten und werden auch die Schnitte zweckmässig sofort in verdünnten Alkohol oder Wasser übertragen. Sie können dann, ohne dass eine Entfernung des Celloidins erforderlich wäre, in beliebige wässerige Farbstofflösungen gebracht oder auch in Glycerin-Gelatine, Canadabalsam, Dammarlack oder dergleichen eingeschlossen werden. Zu vermeiden ist nur die Behandlung mit absolutem Alkohol oder Nelkenöl, die eine Auflösung des Celloidins bewirken würden. Will man die Schnitte in Balsam einschliessen, so empfiehlt es sich, dieselben aus dem 96-proc. Alkohol, der das Celloidin nicht angreift, in Origanumöl oder Bergamottöl und aus diesem in Canadabalsam zu übertragen.

§ 524. Die Aufbewahrung der Celloidinblöcke geschieht unter verdünntem, etwa 70—85-proc. Alkohol, in dem dieselben unbegrenzt lange ihre Schnittfähigkeit bewahren. In der gleichen Flüssigkeit kann man auch Schnitte, für die man gerade keine Verwendung hat, aufbewahren. Man legt dieselben zu diesem Zwecke am besten zwischen kleine mappenartig gefaltete Papierstückchen, auf denen man mit Bleifeder etwaige Notizen anbringen kann.

§ 525. 5. Photoxylin. Das Photoxylin stellt eine dem Celloidin chemisch nahestehende Substanz dar, unterscheidet sich von diesem aber dadurch in sehr vortheilhafter Weise, dass die Lösung desselben völlig klar und farblos ist und dass es auch beim Erhärten eine vollständig durchsichtige Einbettungsmasse liefert. Nach Busse (III) ist dasselbe vollständig in der gleichen Weise wie Celloidin zu verwenden, diesem

aber infolge seiner grösseren Durchsichtigkeit für viele Fälle entschieden vorzuziehen.

§ 526. 6. Celloidin und Paraffin. Für in Paraffin schlecht schneidbare Objecte wurde von Field und Martin (I) eine Einbettung in Paraffin und Celloidin empfohlen. Nach dieser Methode werden die in Alkohol entwässerten Objecte zunächst mit einem Gemisch von gleichen Volumen Alkohol und Toluol durchtränkt. Aus diesem kommen sie dann in eine in folgender Weise bereitete Lösung: Stark getrocknete Celloidinplatten werden zuerst mit etwas Toluol durchtränkt und dann ein Gemisch von gleichen Volumen Toluol und Paraffin zugesetzt. In der so erhaltenen zähen Flüssigkeit wird dann unter gelinder Erwärmung soviel Paraffin gelöst, dass die Lösung bei 20—25° C. gesättigt ist. In diese Lösung werden nun die mit Alkohol und Toluol durchtränkten Objecte hineingebracht und nachdem sie von derselben durchdrungen, entweder in mit Paraffin gesättigtes Chloroform übertragen und dann in der gewöhnlichen Weise in Paraffin eingebettet, oder man bringt das Object in ein kleines Fläschchen und giesst ein so kleines Quantum von dem Einbettungsgemisch darauf, dass das Object gerade bedeckt ist. Darauf werden unter mässiger Erwärmung allmählich kleine Stücke Paraffin hineingethan, bis der Inhalt des betreffenden Gefässes aus nahezu reinem Paraffin besteht.

Die in der gewöhnlichen Weise hergestellten Paraffinblöcke werden mit quergestelltem Messer geschnitten. Die Weiterbehandlung der Schnitte ist die gleiche, wie bei Paraffinschnitten.

6. Das Aufkleben der Schnitte.

§ 527. Ein Aufkleben der Schnitte ist in erster Linie für Mikrotomschnitte erforderlich und zwar namentlich für diejenigen, welche in Paraffin eingebettet sind. Bei diesen ist nämlich vor der Beobachtung eine Entfernung des die Zellen durchtränkenden Paraffins unbedingt nothwendig, und es sind natürlich nur die einigermaassen dicken Mikrotomschnitte so fest, dass man mit denselben, wie mit gewöhnlichen Freihandschnitten, operieren könnte. Schnitte, die etwa eine Dicke von 5 oder gar 1 μ besitzen, würden dagegen ohne Aufklebung nicht vom Paraffin befreit oder gar noch weiter mit Tinctionsmitteln behandelt werden können, ohne fortwährend der Gefahr des gänzlichen Auseinanderfallens ausgesetzt zu sein. Dahingegen können an den gut aufgeklebten Schnitten die verschiedenartigsten Manipulationen mit Leichtigkeit ausgeführt werden, ohne dass die geringsten Verschiebungen an den Schnitten zu befürchten wären, auch wenn dieselben aus einer gewissen Anzahl isolierter Theile bestehen. Ein weiterer Vortheil des Aufklebens besteht dann auch noch darin, dass

man beim Serienschneiden die einzelnen Schnitte mit grosser Sicherheit auf dem Objectträger gruppieren kann.

Weniger nothwendig ist das Aufkleben der Schnitte dagegen bei Celloidin-Material, da dieses nicht nur beim definitiven Einschluss, sondern auch während etwaiger an den Schnitten auszuführender Färbungen im allgemeinen in diesen verbleiben kann, ohne die Deutlichkeit der Bilder zu beeinträchtigen. Infolge der Durchtränkung mit Celloidin besitzen aber auch feinere Schnitte die für die verschiedenen Munipulationen (Färbung, Aufhellung etc.) erforderliche Festigkeit. Nur bei Anwendung einiger Anilinfarbstoffe, die eine Mitfärbung des Celloidins bewirken, ist eine Auflösung desselben nothwendig, und wird man dann zweckmässig die Schnitte ebenfalls zuvor aufkleben. Ausserdem wird dies auch bei Serienschnitten von Vortheil sein können.

Von den zahlreichen zum Aufkleben der Mikrotomschnitte benutzten Methoden sollen nun an dieser Stelle nur drei besprochen werden, die wohl zur Zeit am meisten in Anwendung und auch nach meinen diesbezüglichen Erfahrungen allen anderen überlegen sein dürften. Von diesen beiden Methoden sind die beiden ersten für Paraffin-, die dritte für Celloidin-Material bestimmt.

1. Das Aufkleben mit Eiweissglycerin. § 528. Die bei dieser von P. Mayer (I, 42 und II) empfohlenen Methode in Anwendung kommende Eiweisslösung wird in der Weise bereitet, dass man 50 *ccm* Hühnereiweiss mit 50 *ccm* Glycerin und 1 *gr* Natriumsalicylat zusammenmischt und dies Gemisch nach heftigem Schütteln filtriert. Von dieser Lösung, die nach Vosseler (I, 457) nach circa einem halben Jahre ihre Brauchbarkeit verliert, bringt man einen möglichst kleinen Tropfen auf den zuvor sorgfältig gereinigten Objectträger und verreibt denselben dann derartig mit dem Finger oder einem sauberen Tuche, dass nur noch eine kaum sichtbare Schicht auf dem Objectträger zurückbleibt. Auf diese bringt man sodann die Mikrotomschnitte und drückt sie dem Objectträger fest an, indem man etwa einen trockenen Pinsel zwischen den Finger und die Schnitte hält. Werden dann die Objectträger über einer kleinen Flamme bis zum Schmelzen des Paraffins erhitzt, so haften dieselben infolge der Gerinnung des Eiweisses vollkommen fest auf dem Objectträger und man kann mit Xylol oder dergl. das Paraffin aus ihnen herauslösen, ohne das ein Fortschwimmen derselben zu befürchten wäre. Dasselbe tritt auch nicht ein bei der Uebertragung aus Xylol in Alkohol oder aus Alkohol in Wasser oder ein beliebiges Tinctionsmittel. Diese Methode ist wegen ihrer grossen Einfachheit bestens zu empfehlen. Den Anfänger möchte ich aber besonders darauf hinweisen, dass die zum Aufkleben dienende Eiweisschicht möglichst dünn zu nehmen ist, da sonst

ein Mitfärben dieser Schicht, unter Umständen sogar ein Loslösen der Schnitte stattfinden könnte.

2. Das Aufkleben mit Wasser oder verdünntem Alkohol unter gelinder Temperaturerhöhung. § 529. Auf den gut gereinigten Objectträger bringt man einen Tropfen destilliertes Wasser oder verdünnten, etwa 50 proc. Alkohol und breitet auf diesen die Schnitte in der gewünschten Orientierung aus. Alsdann lässt man die unter den Schnitten befindliche Flüssigkeit unter gelinder Erwärmung (etwa auf 35°) ganz allmählich verdunsten. Sehr geeignet ist zu diesem Zwecke z. B. der obere Raum des Rosen'schen Paraffinofens (cf. Fig. 210, H) und sind auch die in demselben sichtbaren 3 Fächer speciell zur Aufnahme von derartigen Objectträgern bestimmt. Die Temperatur dieses Raumes wird dann auf etwa 32—36° C reguliert. Uebrigens kann man natürlich auch auf der Oberfläche von anderen Paraffinöfen durch entsprechende Unterlage von Glasplatten oder dergl. und eventuell durch Bedecken mit Glasglocken eine entsprechende Erwärmung bewirken.

Ist nun die Flüssigkeit in dieser Weise vollständig verdunstet, was im allgemeinen in ca. 2 Stunden der Fall sein wird, übrigens sofort daran zu erkennen ist, dass die Schnitte dann nicht mehr durchsichtig, sondern weiss aussehen, so können sie zur Entfernung des Paraffins mit Xylol und dann auch mit Alkokol, Wasser oder beliebigen Farbstoffen behandelt werden, ohne dass eine Loslösung der Schnitte zu befürchten wäre. Da gar kein specielles Klebemittel verwandt wurde, kann natürlich auch von einem Mitfärben desselben nicht die Rede sein.

Ein weiterer Vortheil dieser Methode besteht darin, dass man mit Hilfe derselben auch gekräuselte oder gerollte Schnitte zur Ausbreitung bringen kann. Man erreicht dies dadurch, dass man die auf dem Objectträger schwimmenden Schnitte soweit erwärmt, bis das Paraffin gerade anfängt weich zu werden; es findet dann eine vollständig glatte Ausbreitung der Schnitte an der Oberfläche der Flüssigkeit statt. Uebrigens ist hierbei ein vollständiges Schmelzen des Paraffins sorgfältig zu vermeiden, da dieses fast ausnahmslos zu einem Zerreisen der Schnitte führt. Durch vorsichtiges Erwärmen lassen sich dagegen in dieser Weise auch bei der Einbettung entstandene Schrumpfungen bis zu einem gewissen Grade rückgängig machen.

3. Das Aufkleben der Celloidinschnitte. § 530. Zum Aufkleben der Celloidinschnitte empfiehlt Schiefferdecker (V, 182) namentlich folgende Methode: Die gut gereinigten Objectträger werden mit einer dünnen Collodiumschicht überzogen und getrocknet. Dann bringt man auf diesselben die aus 96 proc. Alkohol kommenden Schnitte und ordnet sie in dieser Flüssigkeit auf dem Objectträger in der gewünschten Weise. Den Alkohol lässt man sodann abdunsten, bis die Schnitte nur noch feucht

sind und setzt den Objectträger Aetherdämpfen aus. Die durch diese bewirkte Erweichung des Celloidins und Collodiums bewirkt dann ein festes Anhaften der Schnitte, so dass z. B. die nachträgliche Färbung von grösseren Schnittserien ausgeführt werden kann.

d) Das Schleifen.

§ 531. Während die Anfertigung von Dünnschliffen bei mineralogischen, geologischen und paläontologischen Untersuchungen eine grosse Rolle spielt, wird man bei der mikroskopischen Erforschung der lebenden Organismen nur relativ selten zu dieser Präparationsmethode greifen. Von den thierischen Organen sind es in erster Linie die Knochen und Zähne, deren festes Gerüst an Dünnschliffen zu studieren ist, während dieselben bei den höheren Pflanzen höchstens bei den steinharten Theilen mancher Früchte, so z. B. dem vegetabilischen Elfenbein, dem Endosperm von Phytelephas macrocarpa, benutzt wurden.

Die zur Anfertigung von Dünnschliffen bestimmten Knochen werden nun zunächst durch wochenlange Fäulnis in Wasser von allen Weichtheilen befreit und darauf vollständig getrocknet. Alsdann werden aus denselben mit der Laubsäge ca. 1—2 *mm* dicke Blätter herausgesägt, die dann mit dem Schleifstein oder mit Schmirgelpapier geglättet und bis zur erforderlichen Dünnheit abgeschliffen und schliesslich mit Rehleder oder Conceptpapier poliert werden.

§ 532. Um den Schnitt während des Schleifens bequem halten zu können, kann man ihn zweckmässig mit Siegellack, Schellack oder festem Canadabalsam auf ein entsprechendes Stück Holz oder Kork festkleben, und zwar wird man dann das Knochenblättchen, nachdem man dasselbe zunächst auf der einen Seite glattgeschliffen hat, durch Eintauchen in Alkohol oder Xylol von der Unterlage loslösen müssen, um es dann mit der geglätteten Seite festzukleben und auf der anderen in der gleichen Weise zu bearbeiten. Uebrigens beginnt man beim Schleifen stets mit dem groben Schleifstein oder Schmirgelpapier und geht dann allmählich zu dem feineren über. Zunächst kann man die Knochenblättchen auch zweckmässig mit einer groben Feile abschleifen. Um schliesslich die den Schliffen anhaftende Schleifmasse zu entfernen reibt man dieselben zweckmässig vor dem Polieren mit Filtrierpapier ab.

Längsschnitte von Zähnen stellt man, da diese wegen der allzu grossen Härte der Schmelzschicht nicht mit der Laubsäge in Lamellen zersägt werden können, in der Weise her, dass man den ganzen Zahn auf ein Holzstück oder dergl. festklebt und erst dann von der einen und dann von der anderen Seite mit einem Schleifstein, oder, wenn diese zur

Verfügung stehen, mit einer rotierenden Schmirgel- oder Stahlscheibe abschleift.

5. Die Conservierung der mikroskopischen Präparate.

§ 533. Während man bei manchen Präparationsmethoden, wie z. B. bei der in erster Linie zur Aufhellung dienenden Uebertragung in Canadabalsam, Präparate erhält, die direct in diesem Zustande conserviert werden können, machen andere Objecte, wenn sie dauernd aufbewahrt werden sollen, die Uebertragung in ein speciell zu diesem Zwecke dienendes „Einschlussmittel" nothwendig. Ist dasselbe flüssig oder der Gefahr der Verdunstung ausgesetzt, so ist ferner im allgemeinen noch das Umziehen mit einem Lack oder ähnlichen „Verschlussmittel" nothwendig. In den beiden ersten Capiteln dieses Abschnittes soll denn auch die Anwendung der verschiedenen für Dauerpräparate geeigneten Einschluss- und Verschlussmittel besprochen werden. In den drei weiteren Capiteln sollen dagegen die Etiquettierung, die Markierung bestimmter Stellen und die Aufbewahrung und Versendung der mikroskopischen Präparate besprochen werden.

a) Die Einschlussmittel.

§ 534. Da die bei der Uebertragung in Canadabalsam, Dammarlack und venetianischen Terpentin anzuwendende Technik bereits in dem der Aufhellung gewidmeten Capitel ausführlich besprochen wurde, soll an dieser Stelle bezüglich dieser auch für Dauerpräparate mit bestem Erfolge anzuwendenden Einschlussmittel auf jenen Abschnitt (§ 414—418) verwiesen werden. Ich will in dieser Hinsicht nur noch hervorheben, dass speciell Canadabalsam und Dammarlack für die verschiedenartigsten Färbungen mit Vortheil zu verwenden sind. Im venetianischen Terpentin halten sich namentlich Carmin und Hämatoxylin sehr gut, während die meisten Anilinfarbstoffe in demselben allmählich ausgewaschen werden.

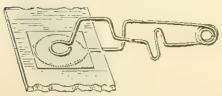


Fig. 212.

Von den übrigen speciell für Dauerpräparate empfohlenen Einschlussmitteln sollen nun die am meisten benutzten und auch wohl am besten für die verschiedenartigsten Objecte geeigneten der Reihe nach besprochen werden. Bevor ich jedoch hierzu übergehe, will ich noch erwähnen, dass es vielfach von Vortheil ist, die Deckgläschen bis zum Erstarren des Einschlussmittels dem Objectträger andrücken zu können. Dieser Zweck

lässt sich nun sehr gut mit Hilfe der von Siebert (Wien) in den Handel gebrachten federnden Neusilberdrähte, der sogenannten „Clips", deren Construction und Anwendungsweise aus Fig. 212 unmittelbar ersichtlich sein dürfte, erreichen.

1. Luft.

§ 535. Bei verschiedenartigen Objecten, wie z. B. Diatomeenschalen, Knochenschliffen, Aschen- und Kieselskeletten etc., kann es vortheilhaft sein, dieselben einfach in Luft einzuschliessen. Es hat dies u. a. den Vortheil, dass der Unterschied der Brechungsindices der zu beobachtenden Objecte und des umgebenden Mediums ein relativ grosser ist und dass infolge dessen die in den betreffenden Objecten etwa vorhandenen Canäle etc. sehr dunkel erscheinen.

In manchen derartigen Fällen werden nun die zu untersuchenden Objecte bereits infolge der Präparation einem Deckgläschen anhaften; dasselbe ist dann natürlich so zu orientieren, dass die Objecte sich auf der Unterseite desselben befinden. Liegen die Präparate aber auf dem Objectträger, so empfiehlt es sich dennoch, dieselben zur Abhaltung von Staub und, um eventuell auch die Anwendung von Immersionssystemen zu ermöglichen, mit einem Deckglas zu bedecken.

Um ein Verschieben der Deckgläser zu verhindern, kann man dieselben zweckmässig durch Umranden mit Wachs oder einem aus gleichen Theilen von Wachs und Colophonium bestehenden Kitt oder auch durch Streifen von gummiertem Papier auf dem Objectträger festkleben.

Manche Objecte, wie z. B. Knochenschliffe, werden auch häufig direct in dicken nur beim Erwärmen flüssigen Canadabalsam eingebettet. Sollen dann aber die feinen Canäle etc. dauernd mit Luft erfüllt bleiben, so muss der Canadabalsam so weit eingedickt sein, dass er beim Erkalten schnell fest wird. Bei Anwendung des gewöhnlich zum Einschluss benutzten, in Xylol gelösten Canadabalsams würde nach einiger Zeit eine vollständige Verdrängung der Luft aus den Schliffen stattfinden.

2. Glycerin.

§ 536. Glycerin wird sowohl für thierische als auch für pflanzliche Objecte sehr häufig als Einschlussmittel angewandt. Die Gefahr des Austrocknens ist bei diesen Präparaten natürlich umso geringer, je concentrierteres Glycerin man verwendet. Es würde sich deshalb auch die Benutzung von concentriertem Glycerin für alle Fälle am meisten empfehlen, wenn dieses nicht auf der anderen Seite für viele Objecte

zu stark aufhellend wirkte. Bei Verwendung von verdünntem Glycerin ist natürlich besonders darauf zu achten, dass der Verschluss durch Lackring oder dergl. ein möglichst vollständiger ist. Schon um ein Verschieben des Deckgläschens zu verhindern, wird man übrigens auch bei Anwendung von concentriertem Glycerin einen Lackring an den Präparaten anbringen.

Von verschiedenen Autoren wird ferner ein geringer Zusatz von Essigsäure oder Ameisensäure (etwa 1 Proc.) zu dem als Einschlussflüssigkeit benutzten Glycerin empfohlen. Ein solcher Zusatz ist namentlich für Präparate, die mit Carmin gefärbt sind, anzuempfehlen, da diese sich in sauren Lösungen besser halten als in neutralen oder gar alkalischen.

Um ferner Präparate von Cyanophyceen und Florideen in ihrer natürlichen Farbe zu conservieren, empfiehlt Kirchner (I, 7) verdünntes Glycerin, dem soviel schwefelsaures Chromoxydkali zugesetzt ist, dass die Flüssigkeit eine ganz hell bläuliche Farbe erhält.

In das Glycerin können die Objecte aus Wasser oder Alkohol übertragen werden. Einigermaassen zarte Objecte, die bei der directen Uebertragung aus Wasser in concentriertes Glycerin leicht schrumpfen würden, werden nach der in § 405 geschilderten Methode zunächst in verdünntes Glycerin übertragen.

Lebende Mikroorganismen oder dergl., die auch in 10-proc. Glycerin schrumpfen würden, wird man vor der Uebertragung in dieses zweckmässig durch Osmiumsäure- oder Joddämpfe (cf. § 444) abtödten.

3. Glyceringelatine.

§ 537. Glyceringelatine wird in neuerer Zeit vielfach als Ersatz für Glycerin als Einschlussmittel angewandt. Sie besitzt diesem gegenüber den Vortheil, dass sie bei gewöhnlicher Temperatur alsbald fest wird, so dass ein Verschieben der Präparate ausgeschlossen ist. Ausserdem ist die Glyceringelatine aber auch sehr leicht gegen Eintrocknung zu schützen.

Die Darstellung der Glyceringelatine kann zweckmässig nach folgendem von Kaiser vorgeschlagenen Recepte geschehen: Man weicht 1 Gewichtstheil farblose Gelatine in 6 Theilen Wasser auf, setzt dann 7 Theile reines Glycerin hinzu und auf 100 *gr* dieser Mischung 1 *gr* Phenol. Sodann wird die ganze Mischung 10—15 Minuten unter stetigem Umrühren erwärmt, bis die Flüssigkeit völlig klar geworden und schliesslich durch Glaswolle oder Filtrierpapier filtriert. Dies geschieht natürlich am besten mit Hilfe eines Heisswasser-Trichters, der z. B. die in Fig. 213 abgebildete Construction besitzen kann.

Zum Gebrauch kann man die Glyceringelatine zweckmässig in ein mit Glasstab versehenes Glas (cf. Fig. 149) einfüllen und dieses etwa auf dem Paraffinofen bis zur Verflüssigung der Gelatine erwärmen. Andauernde starke Erhitzung der Glyceringelatine ist übrigens zu vermeiden, da die Gelatine sonst in sogenannten β-Leim verwandelt wird, der die Fähigkeit, beim Erkalten fest zu werden, verloren hat.

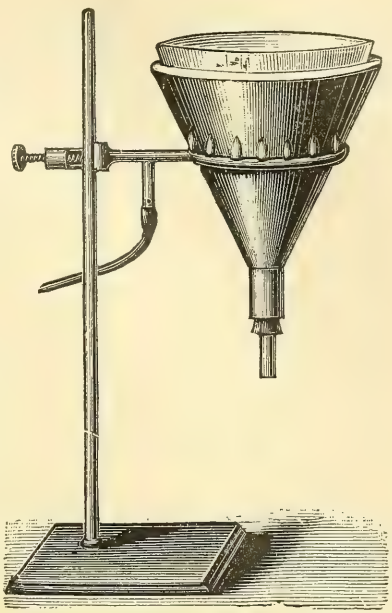


Fig. 213.

In vielen Fällen ist es deshalb auch ganz zweckmässig, in der Weise zu verfahren, dass man sich aus der Glyceringelatine kleine würfelförmige Stücke anfertigt, von denen je eines für ein gewöhnliches Präparat ausreicht. Diese werden dann direct auf dem Objectträger erwärmt. Man kann sich solche Glyceringelatinewürfel leicht darstellen, indem man eine grössere Menge der genannten Substanz in dünner Schicht, etwa auf einem Teller, erstarren lässt und dann zerschneidet.

§ 538. In die Glyceringelatine können die einzuschliessenden Objecte direct aus Wasser übertragen werden. Um Schrumpfungen zu vermeiden, wird man dieselben aber im allgemeinen besser zuvor mit Glycerin durchtränken, eventuell unter Anwendung der § 405 beschriebenen Vorsichtsmaassregeln.

Befinden sich innerhalb des in Glyceringelatine eingeschlossenen Präparates störende Luftblasen, so kann man dieselben bei nicht allzu empfindlichen Objecten leicht dadurch entfernen, dass man die Glyceringelatine zum Sieden erhitzt. Zartere Objecte wird man dagegen nach vorherigem gelinden Erwärmen mit Hilfe der Wasserstrahlpumpe evacuieren können.

Die in Glyceringelatine eingeschlossenen Präparate werden nach dem Erstarren derselben zweckmässig mit einem Lackring versehen. Ist auch in diesem Falle eine Eintrocknung weniger zu befürchten als bei Anwendung von Glycerin, so wird doch z. B. die Reinigung der Präparate durch einen festen Lackring bedeutend erleichtert.

4. Chloralhydrat-Gelatine.

§ 539. Das von Geoffroy (I) empfohlene Einschlussmittel steht in seiner aufhellenden Wirkung dem Glycerin sehr nahe und soll ausserdem gewisse Färbungen wie Jodgrün und Carmin sehr gut conservieren. Man bereitet dasselbe, indem man 3—4 *gr* guter Gelatine in 100 cm^3 einer 10-proc. wässerigen Chloralhydratlösung bei möglichst niedriger Temperatur auflöst. In diese Flüssigkeit werden die Schnitte direct hineingebracht, und es kann, da sich am Rande des Deckglases durch Verdunsten des Wassers bald eine dünne Schicht von Gelatine bildet, nach kurzer Zeit eine Umrandung derselben mit Maskenlack oder alkoholischer Lösung von Siegellack stattfinden.

5. Lävulose.

540. Eine concentrierte wässerige Lösung von Lävulose, deren Brechungsindex zwischen dem des Glycerins und der Harze liegen soll, wird von Schiefferdecker (V, 224) besonders für solche Präparate empfohlen, die ohne Anwendung von Alkohol, Oelen und dergl. stark aufgehellt werden sollen. Auch Carmin und eine Anzahl von Anilinfarben sollen sich in demselben gut halten, während Hämatoxylin allmählich verblasst. Die Objecte werden in diese Lösung direct aus Wasser übertragen.

6. Farrant'sche Lösung.

§ 541. Die sogenannte Farrant'sche Lösung besteht aus einem Gemisch von gleichen Theilen Glycerin, reinem Gummi arabicum und gesättigter wässeriger Lösung von arseniger Säure. In ihrer auffhellenden Wirkung steht sie zwischen dem Glycerin und Dammarlack. Die Objecte werden aus Wasser oder Glycerin in dieselbe übertragen. Da die äusseren Partien bald erstarren, ist eine Umrandung mit Lack oder dergl. überflüssig.

b) Die Verschlussmittel.

§ 542. Namentlich bei Präparaten mit flüssiger oder der Gefahr des Verdunstens ausgesetzter Einschlussmasse ist zu dauernder Conservierung erforderlich, den Rand des Deckgläschens mit Lack oder einem anderen Verschlussmittel zu bestreichen. Damit nun aber ein wirklich haltbarer Verschluss entsteht, ist zunächst nothwendig, dass das Verschlussmittel sich überall dem Rande des Deckgläschens und den benachbarten Partien des Objectträgers vollständig anlegt. Dieses findet jedoch bei den meisten Lacken nicht statt, wenn die betreffenden Glasflächen mit Wasser, Glycerin oder dergl. benetzt sind. Man hat also in derartigen

Fällen alle etwa über den Rand des Deckgläschens hervorragenden Flüssigkeitströpfchen sorgfältig zu entfernen, wozu man sich zweckmässig eines mit 90 proc. Alkohol befeuchteten Tuches bedienen kann.

§ 543. Ein dauernder Verschluss kann ferner dadurch verhindert werden, dass der betreffende Lack mit der Zeit Sprünge bekommt. Solche Sprünge treten z. B. in dem häufig als Verschlussmittel benutzten Asphaltlack zuweilen noch nach langer Zeit auf. Dahingegen scheint dieser Uebelstand z. B. bei dem von Grübler (Leipzig) zu beziehenden Goldsize, der jedenfalls ein sehr geeignetes Verschlussmittel für in Glycerin oder Glyceringelatine eingeschlossene Objecte bildet, nicht einzutreten. In der gleichen Weise kann übrigens auch der in Xylol gelöste Canadabalsam, Bernsteinlack und Terpentinharz mit gutem Erfolg verwandt werden. Das zuletzt genannte Harz kann man nach Stöhr (I, 6) in einer für diesen Zweck geeigneten Consistenz erhalten, indem man das käufliche venetianische Terpentin mit soviel Aether verdünnt, bis das Ganze eine leicht tropfbare Flüssigkeit bildet; dann wird warm filtriert und das Filtrat auf dem Sandbade soweit eingedickt, dass ein mit einem Glasstabe auf den Objectträger übertragener Tropfen sofort soweit erstarrt, dass er ganz hart wird und sich mit dem Fingernagel nicht mehr eindrücken lässt. Um mit dieser Masse einen Verschluss der Präparate zu bewirken, überträgt man dieselbe auf den Rand des Deckgläschens mit Hilfe eines erhitzten Glasstabes oder einer kleinen Oese aus dickem Draht.

Es ist nun übrigens auch bei den genannten Lacken von Vortheil, wenn man auf den zuerst gebildeten Lackring, sobald er vollständig erstarrt ist, einen zweiten Lackring von der gleichen oder auch von einer anderen Masse aufträgt. Es können so etwa entstandene kleine Risse vollständig verschlossen werden.

§ 544. Schliesslich will ich in diesem Abschnitte noch erwähnen, dass man einen zwar nicht völlig luftdichten, aber doch für viele Fälle völlig ausreichenden Verschluss, der überdies den Vortheil besitzt, sofort zu erstarren, durch Wachs erhalten kann und zwar verfährt man dabei zweckmässig in der Weise, dass man ein gewöhnliches Wachslicht an der Spitze über einer Spiritusflamme oder dergl. bis zur Verflüssigung des Wachses erwärmt und dann, den Docht der Kerze als Pinsel benutzend, das Wachs auf den Rand des Deckgläschens aufstreicht. Durch nachträgliches Ueberstreichen mit Asphaltlack oder dergl. kann man den Verschluss natürlich bedeutend vollständiger machen.

c) Die Etiquettierung der Präparate.

§ 545. Handelt es sich zunächst um Präparate, die man nur kurze Zeit, etwa bis zur Erledigung irgend einer Specialuntersuchung, aufbewahren will, so kann man zur Etiquettierung derselben zweckmässig die auf Glas

schreibenden Faber'schen Oelstifte benutzen, und zwar sind namentlich die gelben zu empfehlen. Weniger gut kann man, namentlich auf den mit Alkohol oder Xylol benetzten Objectträgern, mit gewöhnlicher Tinte kurze Notizen anbringen.

§ 546. Bei den zur dauernden Conservierung bestimmten Präparaten wird man dagegen entweder einfache Papieretiquetten oder solche, die gleichzeitig als „Schutzleisten" dienen können, verwenden. Die letzteren sind erforderlich, wenn die Präparate aufeinandergeschichtet werden sollen, während sie z. B. bei mit Zahnleisten versehenen Cartons überflüssig sind. Da nun aber derartige Cartons auch aus anderen Gründen vorzuziehen sind, dürften wohl gewöhnliche gummierte Papieretiquetten, die auf Glas gut haften und in geeigneter Form z. B. von Schröter (Leipzig) bezogen werden können, für die meisten Fälle am besten geeignet sein. Auf diesen Etiquetten wird man nun im allgemeinen ausser der genauen Bezeichnung des betreffenden Objectes die Orientierung des Schnittes, die Behandlung (etwa Fixierung, Färbung und Einschlussmittel) und das Datum der Anfertigung notieren.

Dickere, als Schutzleisten functionierende Etiquetten aus Pappe haften bedeutend schlechter an Glas und würden beim Ankleben mit Gummi zum grössten Theil in kurzer Zeit wieder abspringen. Besser geeignet für diesen Zweck scheint der sogenannte Fischleim (Syndetikon) zu sein.

d) Die Markierung bestimmter Stellen des Präparates.

§ 547. In vielen Fällen wird es von Nutzen sein, eine besonders instructive Stelle eines Präparates derartig zu markieren, dass sie jederzeit leicht und sicher wieder aufgefunden werden kann. Es ist dies namentlich bei Bacterien und ähnlichen Objecten der Fall, die mit blossem Auge überhaupt nicht wahrgenommen werden können; ausserdem ist es aber auch bei grossen Schnittserien und Demonstrationspräparaten vielfach wünschenswert, eine ganz bestimmte Stelle, die man etwa gezeichnet hat, sofort wieder einstellen zu können.

In erster Linie können nun zu diesem Zwecke die bereits § 152—154 besprochenen beweglichen Objecttische dienen, falls sie, wie das ja gewöhnlich der Fall, mit Ablesungsvorrichtungen versehen sind. Ein im wesentlichen auf dem gleichen Princip beruhender Apparat wurde neuerdings auf Vorschlag von Valenti (I) von Wallachs Nachfolger in Cassel construiert und als Mikrotopograph bezeichnet.

§ 548. Handelt es sich nun aber nicht um sehr genaue Einstellung, so kann man den gleichen Zweck auch ohne jeden complicierten Apparat dadurch erreichen, dass man auf den Objecttisch bestimmte Figuren einritzt und diese dann auf dem in der richtigen Einstellung befindlichen

Objectträger markiert. So wurde schon vor langer Zeit empfohlen, auf dem Objectträger zwei Kreuze anzubringen und nach der Einstellung des Präparates die über diesen Kreuzen liegenden Stellen des Objectträgers durch Tintenstriche zu markieren. Von Grunow wurde ferner vorgeschlagen in den Objecttisch zwei sich unter einem rechten Winkel kreuzende Systeme von parallelen Linien einzuritzen; man braucht dann nur die Lage von 2 Ecken des entsprechend eingestellten Objectträgers im Verhältnisse zu diesem Coordinatensystem zu notieren, um diese Einstellung jederzeit wiederfinden zu können.

§ 549. Am einfachsten ist nun aber doch wohl die neuerdings von de Vescovi (I) vorgeschlagene Methode, nach der auf dem Objecttisch in der aus der Fig. 214 ersichtlichen Weise zwei Paare von auf einander senkrecht stehenden Linien angebracht sind. Dieselben werden am besten eingeschnitten und mit weisser Masse ausgefüllt. Die Lage des Objectträgers wird in diesem Falle offenbar bestimmt, indem man über 3 von diesen Radien mit Tinte feine Linien zieht, und zwar ist diese Markierung natürlich umso genauer, je weiter diese Marken vom Centrum des Objecttisches entfernt sind. Will man mehrere Punkte auf demselben Objectträger markieren, so kann dies zweckmässig durch verschiedenfarbige Linien geschehen.

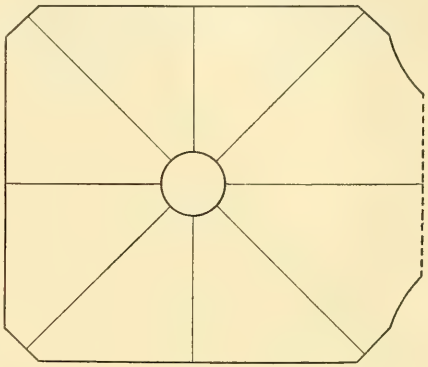


Fig. 214.

Bei Demonstrationspräparaten ist es ferner auch vielfach wünschenswert, das Präparat so zu orientieren, dass eine bestimmte Stelle desselben nach vorn gerichtet ist. Um lange Drehungen überflüssig zu machen, markiert man in solchen Fällen zweckmässig durch einen an einer bestimmten Stelle des Etiquettes angebrachten Pfeil die bei der gewünschten Einstellung nach vorn gekehrte Richtung.

§ 550. Drittens kann man nun aber auch in der Weise verfahren, dass man direct auf dem Präparat die betreffende Stelle bezeichnet. Es hat dies den für Demonstrationspräparate nicht zu unterschätzenden Vortheil, dass ein derartig markiertes Präparat natürlich ohne weiteres bei jedem beliebigen Mikroskope benutzt werden kann.

Ohne jeden Apparat kann man nun diese Art der Markierung in der Weise ausführen, dass man nach Einstellung der betreffenden Stelle Ocular und Objectiv entfernt und, indem man von oben in den Tubus hineinsieht, das Centrum des Gesichtsfeldes, das ja aus der Orientierung

der Blendung oder der Frontlinse des Condensors leicht zu bestimmen ist, auf dem Deckglas mit Tinte oder dergl. mit einem Kreise umzieht.

§ 551. Von Klönne und Müller wurde ferner ein speciell zu diesem Zwecke dienender kleiner Apparat, der „Objectmarkierer" (Fig. 215), construiert, der in seiner äusseren Form mit einem gewöhnlichen Objectiv eine grosse Aehnlichkeit besitzt und auch, wie dieses, an das untere Ende des Tubus angeschraubt wird. An Stelle der Linsen befindet sich nun aber an der unteren Fläche des Objectmarkierers einfach ein ringförmiger Metallkreis, der wie ein Stempel mit Färbemasse überzogen wird, so dass, wenn der Apparat nach genauer Einstellung des Präparates auf dieses gesenkt wird, auf dem Deckglas über der zu markierenden Stelle ein kleiner farbiger Kreis aufgezeichnet wird. Um nun aber zu verhindern, dass hierbei ein allzustarker Druck auf das Deckglas ausgeübt wird, wird der untere Theil (a) des Apparates, der in verticaler Richtung auf dem Cylinder c verschiebbar ist, durch eine im Inneren befindliche Feder nach unten gepresst.

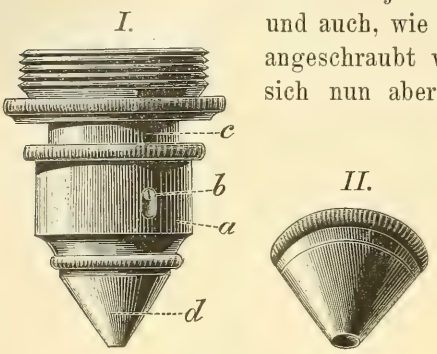


Fig. 215.

Wenn man also den Objectmarkierer nicht soweit auf das Präparat hinabsenkt, dass die im unteren Theile bei der Schraube b befindliche Oeffnung mit ihrem unteren Rande an jene Schraube anstösst, so wird die untere Fläche des Objectmarkierers offenbar nur durch den relativ schwachen Druck jener Feder dem Deckgläschen angepresst.

Bemerken will ich übrigens noch, dass der Apparat neuerdings so angefertigt wird, dass die unterste Partie (Fig. 215 d, I, und II) abgeschroben und gegen eine solche, die an ihrem unteren Ende eine abweichende Oeffnung besitzt, vertauscht werden kann. Man ist so also imstande, je nach der Grösse der zu markierenden Objecte, engere oder weitere Kreise auf dem Deckgläschen zu erzeugen.

Die dem Apparate beigegebene Färbemasse ist übrigens lediglich für Trockensysteme brauchbar, da sie durch Cedernholzöl oder das zur Entfernung desselben zu benutzende Xylol oder Benzin leicht aufgelöst wird. Ausserdem macht dieselbe bei jedesmaligem Gebrauch eine neue Befeuchtung der Stempelmasse nothwendig. Ich verwende deshalb seit einiger Zeit mit gutem Erfolg ein von K. Bofinger (Stuttgart, Gutenbergstrasse 2) bezogenes Stempelpolster*), das lange Zeit ge-

*) Neuerdings werden derartige Stempelpolster von Klönne und Müller dem Apparate beigegeben.

brauchsfähig bleibt. Die unter Benutzung desselben angefertigten Kreise werden, wenn sie gut angetrocknet sind (etwa nach 2 Tagen), von Cedernholzöl oder Xylol nicht oder nur wenig angegriffen.

Immerhin dürfte es sich empfehlen bei Präparaten, die speciell für die Untersuchung mit Oelimmersion bestimmt sind, die Kreise mit schwarzer Tinte oder dergl. zu umziehen.

§ 552. Etwas compendiöser ist der auf Veranlassung von Schiefferdecker (III) von R. Winkel angefertigte Apparat; bei demselben wird der zur Markierung dienende Kreis mit Hilfe eines Diamanten auf dem Deckgläschen eingeritzt. Diese Kreise haben natürlich den Vorzug, dass sie weder fortgewischt werden können, noch gewisse Theile des Präparates verdecken.

Dagegen sind die Kreise — wenigstens bei dem mir gelieferten Apparate — selbst bei wiederholter Umdrehung des Apparates so fein, dass sie mit blossem Auge nur mit grosser Mühe erkannt werden können. Für gewöhnliche Demonstrationspräparate scheint mir deshalb der Klönne-Müller'sche Apparat den Vorzug zu verdienen.

e) Die Aufbewahrung der Dauerpräparate.

§ 553. Die zur Aufbewahrung mikroskopischer Präparate von den verschiedenen Autoren benutzten Cartons besitzen eine sehr verschiedenartige Construction, und es lassen sich auch in der That sehr verschiedene Gesichtspunkte geltend machen, die die eine oder die andere Construction als vortheilhafter erscheinen lassen.

Aus verschiedenen Gründen scheinen mir nun aber allgemein diejenigen Cartons den Vortheil zu verdienen, in denen die Präparate nicht einfach aufeinander geschichtet werden. Mit Rücksicht auf den relativ geringen Preis scheinen mir ferner die in Fig. 216 abgebildeten Cartons, die ausserdem eine grosse Anzahl von Präparaten auf einen relativ geringen Raum zusammenzudrängen gestatten, sehr empfehlenswert. Damit die Präparate in denselben horizontal liegen, werden diese Kästen wie Bücher aufgestellt und auch zweckmässig auf dem Rücken mit einem entsprechenden Etiquett versehen. Da sich ferner auch an den Zahnleisten Nummern befinden, so ist es möglich, jedes einzelne Präparat nach einem zweckmässig direct in den betreffenden Kasten hineingelegten

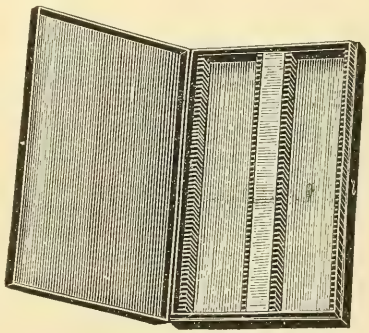


Fig. 216.

Verzeichnis sofort aufzufinden. Diese Kästen sind wie die im folgenden genannten und eine grosse Anzahl anders gestalteter von Schröter (Leipzig) zu beziehen.

Sehr vielfach werden ferner auch die in Fig. 217 abgebildeten Cartons benutzt, die den Vorzug haben, dass man sämmtliche Präparate sofort übersehen kann. Für eine grössere Sammlung sind wohl auch die

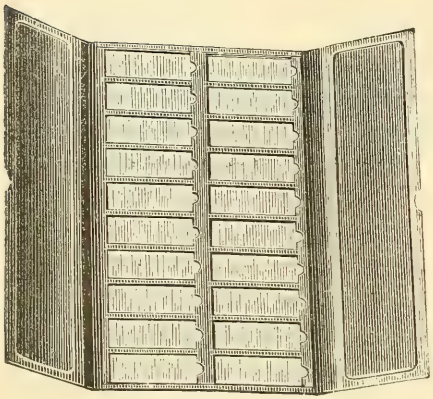


Fig. 217.

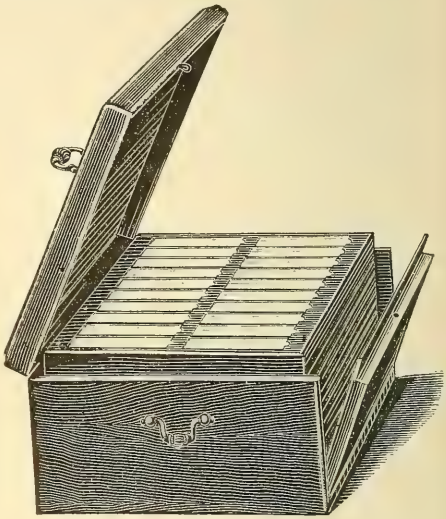


Fig. 218.

in Fig. 218 abgebildeten Holzkästen empfehlenswert, die, wie aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, eine grosse Anzahl von Tafeln aufnehmen.

§ 554. Schliesslich sei erwähnt, dass Schröter auch speciell zum Versandt von Präparaten bestimmte Holzkästen anfertigt, die 10—30 Präparate, die durch Zahnleisten voneinander getrennt sind, aufzunehmen gestatten. Will man nur wenige Präparate verschicken, so kann man auch zweckmässig die neuerdings eingeführten Postversandtmappen benutzen, die in Fig. 219 im geöffneten, in Fig. 220 im geschlossenen Zustande dargestellt sind. Dieselben bestehen ganz aus roher Pappe, sind aber so fest, dass die Präparate durch das Abstempeln nicht beschädigt werden können.

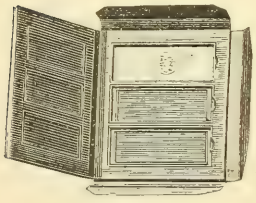


Fig. 219.

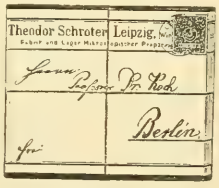


Fig. 220.

V. Die mikroskopische Wahrnehmung.

§ 555. Der wesentliche Unterschied zwischen der mikroskopischen Beobachtung und derjenigen mit dem unbewaffneten Auge besteht unstreitig darin, dass das mikroskopische Bild im allgemeinen nur über eine ganz bestimmte Ebene des zu beobachteten Objectes Aufschluss zu geben vermag, dass man somit in diesem Falle nur durch Combination zahlreicher Bilder zu körperlichen Vorstellungen gelangen kann. Sodann spielen bei den fast ausschliesslich im durchfallenden Lichte stattfindenden mikroskopischen Beobachtungen die Brechungen der Lichtstrahlen eine viel grössere Rolle als bei der Beobachtung mit dem unbewaffneten Auge der Fall ist. Schliesslich sind auch manche Absonderheiten der mikroskopischen Abbildung auf die abnorm grosse Oeffnung der zur Bilderzeugung dienenden Strahlenkegel zurückzuführen.

§ 556. Es kann somit nicht auffallen, dass die Deutung der mikroskopischen Bilder für den Anfänger mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist und dass das Mikroskopieren nur durch längere Praxis gründlich zu erlernen ist. Es ist denn auch nicht der Zweck dieses Abschnittes eine solche Praxis überflüssig zu machen. Vielmehr sollen in demselben nur einige Eigenschaften des mikroskopischen Bildes besprochen werden, deren genauere Kenntnis auch für den mit der gewöhnlichen Praxis Vertrauten von einigem Nutzen sein dürfte.

Es soll nämlich in den beiden folgenden Abschnitten an der Hand entsprechender Constructionen gezeigt werden, in welcher Weise die mikroskopische Abbildung von kugelförmigen Körpern aus undurchsichtiger oder durchsichtiger Substanz stattfindet. Nach den bei der Betrachtung dieser Körper gewonnenen Erfahrungen dürfte übrigens auch die Deutung derjenigen Bilder, die von cylinderförmigen, elliptischen oder mehr oder weniger unregelmässigen Körpern erzeugt werden, keine wesentlichen Schwierigkeiten mehr bieten, und will ich mich deshalb auch auf die Besprechung der kugelförmigen Körper beschränken. Bezüglich der durch feinere Structuren erzeugten Bilder und namentlich auch hinsichtlich der bei der Beleuchtung mit schiefem Lichte eintretenden Erscheinungen sei auf das bereits § 72—83 Erwähnte verwiesen.

I. Die mikroskopische Abbildung einer undurchsichtigen, reflectierenden Kugel.

§ 557. Ein Beispiel für einen undurchsichtigen, das Licht vollkommen reflectierenden kugelförmigen Körper bildet z. B. eine Quecksilberkugel, die man zur Beobachtung bei stärkeren Vergrösserungen zweckmässig in Wasser oder Canadabalsam einschliessen kann. Man kann sich so durch directe Beobachtung leicht davon überzeugen, dass das mikroskopische Bild einer derartigen Kugel ein sehr compliciertes ist und sich nicht nur mit der Verschiebung des Tubus ändert, sondern auch von der angewandten Beleuchtungsart und der Apertur des zur Beobachtung benutzten Objectivs in hohem Grade abhängig ist. In der That sind auch bei der Entstehung dieses Bildes die verschiedenartigsten Reflexionen und Interferenzerscheinungen betheiligt.

So ist zunächst die Möglichkeit ins Auge zu fassen, dass Lichtstrahlen, die von oben her auf die Kugel fallen, nach der Reflexion an dieser ins Mikroskop gelangen. In der That werden infolge dieser Reflexionen stets gewisse Lichteffecte im Bilde der Quecksilberkugel erzeugt werden, wenn nicht durch entsprechende Verdunkelung des Objecttisches das von oben einfallende Licht ferngehalten wird. Da mir nun übrigens diese Reflexionen weder theoretisch, noch praktisch wichtig zu sein scheinen, wollen wir im folgenden annehmen, dass das Präparat ausschliesslich von unten her beleuchtet werde.

§ 558. Wenn nun aber auch diese Bedingung vollkommen erfüllt ist, so werden trotzdem auf den Quecksilbertropfen von oben her Lichtstrahlen gelangen, und zwar durch Reflexion an den verschiedenen spiegelnden Flächen des Objectivs. Diese Reflexionen finden sowohl bei schwachen als auch bei starken Systemen statt und sind auch bei Anwendung von Oelimmersion nicht auszuschliessen. Im letzteren Falle kommt namentlich die gekrümmte Fläche der annähernd halbkugelförmigen Frontlinse in Betracht, die wie ein Hohlspiegel das vom Beleuchtungsapparate ausgehende Licht nach der Quecksilberkugel zurückwirft, von wo aus es dann nach abermaliger Reflexion ins Objectiv gelangt. Es ist hierbei zu beachten, dass die von Convexspiegeln erzeugten Bilder stets virtuell sind und unterhalb der Oberfläche des Spiegels liegen. In der That beobachtet man auch bei Anwendung von Oelimmersion nach Einstellung auf eine dicht unter der Oberfläche der Quecksilberkugel gelegene Ebene ein scharfes Bild der Lichtquelle, das man z. B. dadurch deutlicher sichtbar machen kann, dass man den Spiegel des Beleuchtungsapparates so stellt, dass ein Fensterkreuz oder dergl. in das nach Entfernung des Oculars über dem Objectiv sichtbare Bild der Lichtquelle fällt.

§ 559. Bei Anwendung schwächerer Systeme wird man übrigens häufig infolge der Spiegelung an verschiedenen Linsenflächen des Objectivs mehrere verschieden stark verkleinerte Bilder der Lichtquelle beobachten können. So will ich an dieser Stelle noch beiläufig bemerken, dass wie Sohnke (I) vor kurzem nachgewiesen, auch bei Präparaten mit ebenen spiegelnden Flächen, so z. B. bei der Abbe'schen Diffractionsplatte, durch Spiegelung an den Linsenflächen und an der Diffractionsplatte verschiedenartige Bilder erzeugt werden können. So beobachtete Sohnke unter Benutzung von Objectiv a a (Zeiss) 5 verschiedene Bilder der Diffractionsplatte und zeigt auch durch exacte Berechnungen, dass dieselben in der That durch Reflexion an den verschiedenen Linsenflächen entstehen.

§ 560. Drittens können nun aber auch Strahlen direct nach der Reflexion an der Quecksilberkugel ins Mikroskop gelangen. Wir wollen von diesen Strahlen zunächst diejenigen ins Auge fassen, die parallel der Achse des Mikroskops auf die Quecksilberkugel auffallen. Der Verlauf dieser Strahlen ist auf der linken Seite der Fig. 221 durch die Strahlen $A\,B\,C$, $A_1\,B_1\,C_1$ ... dargestellt. Aus dieser Construction ist nun zunächst ersichtlich, dass von diesen Strahlen umsomehr in das betreffende Objectiv gelangen, je grössere Apertur dasselbe besitzt. So würde z. B. der Strahl $A_1\,B_1\,C_1$, da der Winkel $M\,D_1\,C_1 = 41$, einen Oeffnungswinkel von 82° voraussetzen, während der Strahl $A_2\,B_2\,C_2$ einen Oeffnungswinkel von 136° erfordern würde.

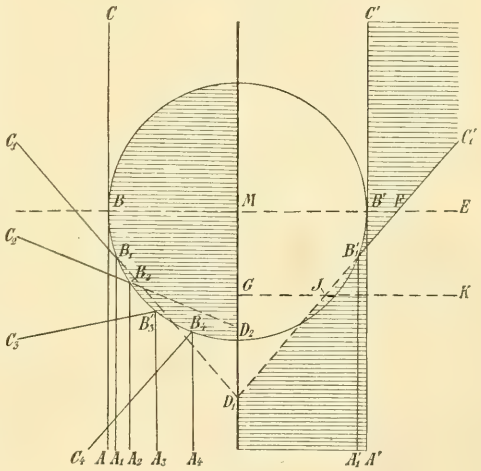


Fig. 221.

Nehmen wir nun an, das betreffende Objectiv besässe gerade einen Oeffnungswinkel von 82°, so würde sich der von den Randstrahlen $A'\,B'\,C'$ und $A_1'\,B_1'\,C_1'$ begrenzte Strahlenkegel offenbar über die auf der rechten Seite der Fig. 221 schraffierte Fläche ausbreiten, und es werden alle innerhalb dieser Fläche gelegenen Punkte durch die an der Kugeloberfläche reflectierten Strahlen erhellt erscheinen. Stellten wir also z. B. das Objectiv auf die durch den Mittelpunkt der Kugel gehende Ebene M E ein, so würde offenbar die Strecke B' F hell erscheinen müssen, und es wird also, wenn wir von den Interferenzerscheinungen vorläufig absehen, ein heller Rand um die Quecksilberkugel herum sichtbar sein müssen.

Bei tieferer Einstellung, etwa auf die Ebene (G K), wird sich dieser hellere Rand sogar nach dem Inneren der Quecksilberkugel zu (bis J) ausdehnen.

§ 561. Gehen wir nun zu der Besprechung des bei schiefer Beleuchtung stattfindenden Strahlenverlaufes über, so ist zunächst aus der Construction in Fig. 222 unmittelbar ersichtlich, dass bereits bei einem bedeutend geringeren Oeffnungswinkel des Objectivs ein erheblicher Theil von den reflectierten Strahlen in das betreffende Objectiv gelangen wird. So würde z. B. der Strahl $A_3 B_3 C_3$ nur einen Oeffnungswinkel von 124° voraussetzen. Die Figur zeigt aber ferner, dass schon bei Anwendung eines Systemes, das bei einem Oeffnungswinkel von ca. 58° den Strahl $A_2 B_2 C_2$ gerade noch aufzunehmen vermag, bei der Einstellung auf die Medianebene (M M) der Rand der Quecksilberkugel bis D hell erscheinen muss und dass dieser helle Rand mit dem Senken des Tubus immer mehr an Breite zunimmt.

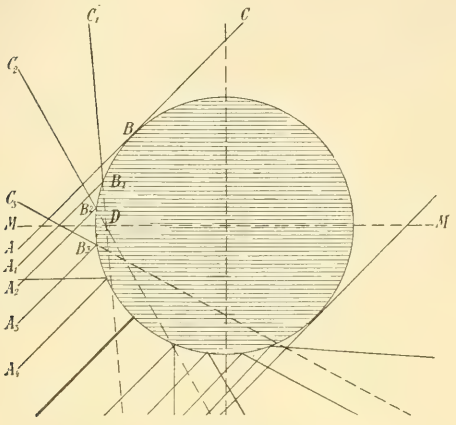


Fig. 222.

§ 562. In sehr anschaulicher Weise kann man sich übrigens von der Richtigkeit des Obigen überzeugen, wenn man das Mikroskop zunächst unter Anwendung eines sehr engen Beleuchtungskegels auf die Medianebene einer Quecksilberkugel einstellt und dann durch Oeffnung der Irisblendung den Oeffnungswinkel des Beleuchtungsapparates immer mehr vergrössert. Man wird so in der That beobachten können, dass der das Bild der Quecksilberkugel darstellende dunkle Kreis immer mehr an Ausdehnung verliert, so dass die Quecksilberkugel bei Anwendung grosser Beleuchtungskegel so aussieht, als ob sie von einer breiten Oelhülle oder dergl. umgeben wäre.

§ 563. Von grosser Bedeutung für das Bild der Quecksilberkugel sind nun übrigens schliesslich noch die Interferenzerscheinungen, welche durch das Zusammentreffen von den an der Quecksilberoberfläche reflectierten und den direct in das betreffende Objectiv gelangenden Strahlen bewirkt werden.

Wie bereits § 56 und 58 dargelegt wurde, treten Interferenzerscheinungen dann ein, wenn in einem Punkte Strahlen vereinigt werden, die von dem gleichen Punkte eines selbstleuchtenden Körpers ausgehen

und in jenem Punkte mit ungleicher Schwingungsphase ankommen. Denken wir uns nun wiederum die Lichtquelle sehr weit entfernt und auf der Achse des Mikroskops gelegen, so werden offenbar die parallel der Achse einfallenden Strahlen miteinander interferenzfähig sein. So werden also auch z. B. der an der schwarzgezeichneten Randpartie der Quecksilberkugel (Fig. 223) reflectierte Strahl A B C und der directe Strahl D E C im Punkte C miteinander interferieren und wir werden also auch bei der Einstellung auf diesen Punkt in dem zugeordneten Bildpunkte je nach dem Phasenunterschied dieser beiden Strahlen Helligkeit oder Dunkelheit erhalten. Da nun die beiden Strahlen in den Punkten B und E offenbar mit gleicher Schwingungsphase ankommen, so ist der Phasenunterschied zwischen dem directen und dem reflectierten Strahle lediglich von dem Unterschied zwischen C B und C E abhängig und kann, wenn E F einen Theil des um C als Mittelpunkt gezogenen Kreises darstellt, durch die Grösse F B repräsentiert werden; diese wird aber umsomehr zunehmen müssen, je mehr sich der Punkt C von der spiegelnden Fläche entfernt. Offenbar kommen ja z. B. die Strahlen $A_1 B_1 C_1$ und $D_1 C_1$ mit einem bedeutend grösseren Phasenunterschied ($B_1 F_1$) in C_1 an, wie die zuerst besprochenen Strahlen in C.

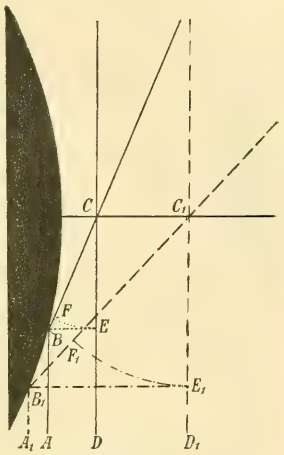


Fig. 223.

Es ist hierbei jedoch noch zu beachten, dass ein jeder reflectierte Strahl bei der Reflexion eine Verzögerung um eine halbe Wellenlänge erleidet. Ganz in der Nähe des Punktes P wird also die Phasendifferenz $^1/_2 \lambda$ betragen und von hier aus immer mehr zunehmen. Bei monochromatischem Lichte wird man also auch einen fortwährenden Wechsel zwischen hell und dunkel erhalten, ersteres für Pflanzendifferenzen von $n\lambda$, letzteres von $\frac{n+1}{2}\lambda$ (cf. § 57). Bei Anwendung von weissem Licht werden sich dagegen die einzelnen Maxima und Minima, wie bei einem im Polarisationsmikroskop befindlichen Gipskeil, zu den Farben der Newton'schen Farbenscala (cf. § 262) combinieren.

§ 364. Aehnlich verhält sich der Strahlenverlauf nun offenbar auch bei schief einfallenden Beleuchtungskegeln. So ist wohl aus der Fig. 224 unmittelbar ersichtlich, dass die beiden mit gleicher Neigung einfallenden Strahlen A B C und D C im Punkte C miteinander interferieren. Da dieselben ferner in B und E mit gleicher Schwingungsphase ankommen, so werden sie offenbar, abgesehen von der durch Reflexion

bewirkten Phasendifferenz von $^1/_2\lambda$, in C mit der Phasendifferenz C B — C E = B F ankommen.

Aus der Fig. 224 ist nun übrigens ferner noch ersichtlich, dass verschieden geneigte Strahlenbüschel in dem gleichen Punkte im allgemeinen ungleiche Phasendifferenzen besitzen müssen. So haben ja offenbar die parallel der Achse einfallenden Strahlen A' B' C und D' C in C eine bedeutend geringere Phasendifferenz (B' F') als die zuerst besprochenen schief einfallenden Strahlen. Es leuchtet somit ein, dass man die die Quecksilberkugel umgebenden Interferenzkreise nur dann scharf hervortreten sieht, wenn man Licht von annähernd gleicher Neigung anwendet, da sonst die von den verschieden stark geneigten Lichtstrahlen erzeugten verschieden breiten Interferenzkreise einander theilweise oder ganz aufheben.

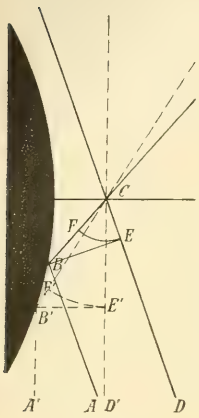


Fig. 224.

In der That kann man sich auch durch directe Beobachtung einer Quecksilberkugel leicht davon überzeugen, dass die Deutlichkeit der dieselbe umgebenden Interferenzkreise umsomehr zunimmt, je mehr man den Oeffnungswinkel des Beleuchtungskegels verkleinert.

Erwähnen will ich nun übrigens schliesslich noch, dass mit einer Aenderung der Einstellung natürlich auch eine Aenderung der Configuration der Interferenzkreise stattfindet. Es würde jedoch zu weit führen, wenn wir auf diese Verhältnisse näher eingehen wollten.

2. Die mikroskopische Abbildung einer durchsichtigen Kugel.

§ 565. Die Bilder, welche von einer durchsichtigen Kugel durch Brechung und Reflexion der auf dieselbe auffallenden Lichtstrahlen im Mikroskop erzeugt werden, zeigen zunächst ein sehr verschiedenartiges Aussehen, je nachdem die Substanz der betreffenden Kugel einen geringeren oder grösseren Brechungsindex als das umgebende Medium besitzt. Das erstere würde z. B. beim Einschluss in Wasser bei einer Luftblase, das zweite bei einem Oeltropfen der Fall sein. Wir wollen uns denn auch bei der nun folgenden Besprechung an diese beiden Beispiele halten. Zuvor will ich jedoch gleich noch bemerken, dass ich die direct von oben her oder auch nach der Reflexion an den verschiedenen Flächen des Objectivs auf die betreffende Kugel auffallenden Strahlen, die unter Umständen ebenso wie bei einer Quecksilberkugel (cf. § 557) auf das mikroskopische Bild von Einfluss sein können, im folgenden nicht mit berücksichtigen werde. Ich werde mich dagegen auf die Verfolgung der

vom Beleuchtungsapparate ausgehenden Strahlen, die entweder nach vorausgehender Brechung oder durch Reflexion in das betreffende Objectiv gelangen, beschränken.

a) Das Bild einer Luftblase.

§ 566. Den Verlauf eines eine Luftblase durchsetzenden Lichtstrahles wollen wir uns zunächst an der Hand der Fig. 225 klarmachen. Aus derselben ist wohl ohne weiteres ersichtlich, dass von einem parallel der Achse einfallenden Strahlenbündel nur der durch den Mittelpunkt (C) der Kugel gehende Strahl A C A, der als Durchmesser beim Ein- und Austritt auf der Kugelfläche senkrecht steht, die Luftblase ohne Brechung durchsetzt. Alle anderen Strahlen werden dagegen sowohl beim Eintritt als auch beim Austritt aus der Luftblase eine Ablenkung aus ihrer Richtung erleiden.

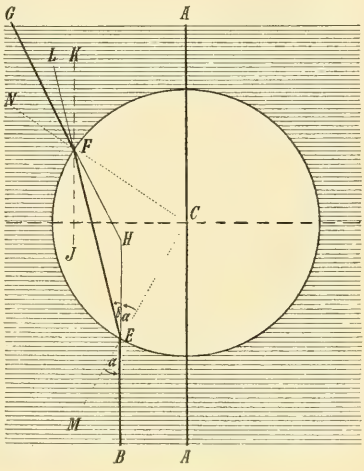


Fig. 225.

So wird z. B. der Strahl B E, der mit dem Einfallsloth (dem Radius C E) den Winkel B E M ($=\alpha$) bildet, die Luftblase in der Richtung E F durchsetzen, wobei der Winkel C E F ($=\alpha'$) bestimmt ist durch die Gleichung $\sin\alpha' = n \cdot \sin\alpha$. Wir wollen die Ablenkung von der Verticalen, den Winkel H E F $=\alpha' - \alpha$, mit δ bezeichnen.

Nun ist aber offenbar der Winkel E F C $=$ F E C $=\alpha'$, folglich der Sinus des Winkels, den der austretende Strahl F G mit dem Radius C N bildet, bestimmt durch den Quotient $\frac{\sin\alpha'}{n}$. Dieser ist jedoch nach Obigem $=\sin\alpha$ und also der Winkel G F N $=\alpha$.

Um nun aber die Neigung von F G gegen die der Achse parallele Linie J K zu bestimmen, haben wir zu berücksichtigen, dass der Winkel J F E und folglich auch L F K $=$ F E H $=\delta$; ferner ist G F L $=\alpha' - \alpha$, folglich ebenfalls $=\delta$. Die Abweichung von der Verticalen, der Winkel G F K $=$ G F L $+$ L F K, ist also 2δ, und es findet also bei der Kugel im Gegensatz zu der planparallelen Platte eine vollständige Summation der beim Ein- und Austritt stattfindenden Ablenkungen statt.

Aus der Gleichung $\delta = \alpha' - \alpha$ folgt nun aber ferner, dass der Winkel (2δ), den die aus der Luftblase austretenden Strahlen mit der

Verticalen bilden, umso grösser ist, je grösser die Differenzen der Winkel α und α' sind, oder, da $\sin \alpha' = n \cdot \sin \alpha$, je grösser der Brechnungsindex der die Luftblase umgebenden Substanz. So werden also auch z. B. die eine Luftblase passierenden Strahlen weniger abgelenkt, wenn sich diese in Wasser befindet, als wenn sie von Canadabalsam umgeben ist.

§ 567. In der Fig. 226 ist nun für eine Anzahl parallel der Achse einfallender Strahlen der Verlauf durch die Luftblase construiert. Offenbar werden von diesen Strahlen nur diejenigen in das Mikroskop gelangen können, deren Neigungswinkel gegen die Achse den in Wasser gemessenen halben Oeffnungswinkel des betreffenden Objectivs nicht übersteigt. Betrüge dieser z. B. 24°, so würde gerade noch der unter diesem Winkel gegen die Achse (A A) geneigte Strahl $D_3\, D_4$ in das Objectiv gelangen können. Es wird also auch ein je nach der Einstellung verschieden breiter Rand der Luftblase dunkel sein müssen. Offenbar wird ja z. B., wenn wir das Mikroskop auf die das Centrum der Luftblase schneidende Ebene G G einstellen, der Strahl $D_1\, D_2\, D_3\, D_4$ so wirken, als wenn er von D_I ausgienge. Da nun aber ferner die jenseits $D_1\, D_2\, D_3\, D_4$ verlaufenden Strahlen (z. B. der Strahl $E_1\, E_2\, E_3\, E_4$) nicht mehr in das betreffende Objectiv gelangen, so wird die zwischen D_I und H gelegene Partie der Luftblase dunkel erscheinen müssen. Aus dem gleichen Grunde würde bei Einstellung auf den unteren Rand der Luftblase nur die bis D_{II} reichende Partie der Luftblase hell erscheinen.

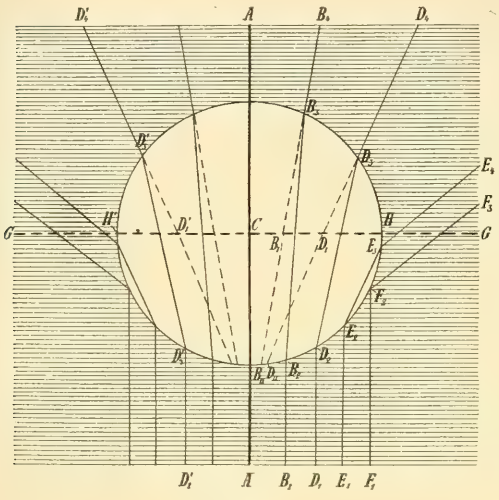


Fig. 226.

§ 568. Gehen wir nun aber zu schiefer Beleuchtung über, so ist zunächst aus der in der gleichen Weise construierten Fig. 227 ersichtlich, dass wiederum der durch das Centrum der Luftblase gehende Strahl (A A) dieselbe ungebrochen durchsetzt. Die rechts und links von diesem Strahl verlaufenden Strahlen werden dagegen je nach ihrer Entfernung von demselben mehr oder weniger stark abgelenkt. Offenbar werden nun aber die links von dem Centralstrahl verlaufenden Strahlen, da jener ja selbst bereits eine gewisse Neigung (in unserer Figur 30°) besitzt. sehr bald den halben Oeffnungswinkel des Objectivs überschreiten. Betrüge dieser

z. B. 42°, so würde der Strahl $B_1' B_2' B_3' B_4'$, der mit einer Neigung von 39° austritt, nahezu der äusserste Strahl sein, der noch von dem betreffenden Objectiv aufgenommen wird. Auf der anderen Seite würde aber sogar der Strahl $E_1 E_2 E_3 E_4$, der einen Neigungswinkel von 31° besitzt, noch in das betreffende Objectiv gelangen können. Hätten wir also auf die durch das Centrum der Luftblase gehende Ebene G' G eingestellt, so würde auf der einen Seite der dunkle Rand bis dicht an $B^{I'}$ reichen, auf der anderen Seite aber nicht einmal bis E_I. Es leuchtet ferner wohl ohne weiteres ein, dass der bei Einstellung auf die Medianebene auf der rechten Seite der Luftblase sichtbare dunkle Rand umso schmäler wird, je mehr das einfallende Strahlenbüschel gegen die Achse J J' geneigt ist.

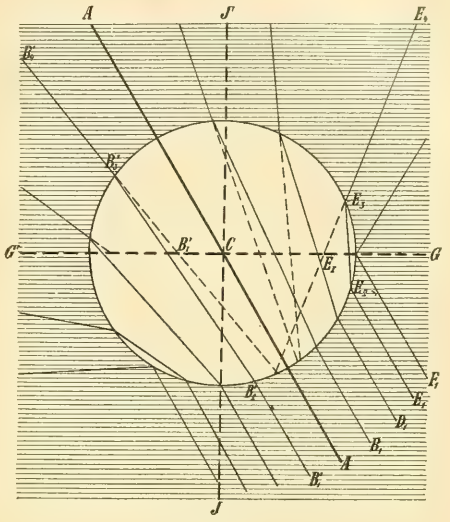


Fig. 227.

Senken wir nun aber den Tubus, so verschiebt sich die helle Fläche, die von den Strahlen $E_3 E_4$ und $B_3' B_4'$ begrenzt wird, immer mehr nach der rechten Seite hin, so dass sie sich bei Einstellung auf die untere Fläche der Luftblase bereits ganz seitlich von der Achse J J' befindet.

§ 569. Lassen wir nun schliesslich auf die betreffende Luftblase einen centrierten Beleuchtungskegel fallen, der also gleichzeitig Strahlen enthält, die der Achse parallel laufen, und solche, die mit derselben verschiedene Winkel bilden, so wird offenbar das Centrum der Luftblase am hellsten erscheinen müssen, da es von Strahlen jeder beliebigen Neigung erhellt wird. Nach dem Rande hin wird aber eine allmähliche Abnahme der Lichtintensität eintreten müssen, die, wenn der Oeffnungswinkel von Beleuchtungskegel und Objectiv nicht sehr gross ist, alsbald in den völlig dunklen Rand übergeht. Senken wir ferner den Tubus, so wird der im Centrum der Luftblase erscheinende helle Kreis immer mehr an Ausdehnung abnehmen.

Bei der factischen Beobachtung einer Luftblase wird man nun aber im Gegensatz zu den obigen Angaben finden, dass der Rand derselben keineswegs vollkommen dunkel erscheint, sondern je nach der Einstellung verschiedene helle Kreise aufweist. Diese beruhen darauf, dass, wie bisher

unberücksichtigt gelassen wurde, die unter einem geringen Winkel gegen die Grenze von Luft und Wasser auffallenden Strahlen stets auch zum Theil reflectiert werden. Wird also z. B. der Strahl $B_1 B_2 B_3$ (Fig. 228) in B_3 nicht nur nach B_4 gebrochen, sondern auch zum Theil nach B_4' reflectiert, so wird der bei B_4' austretende Strahl $B_4' B_5'$ auch bei relativ geringem Oeffnungswinkel des Objectivs in dieses gelangen können — in der Figur besitzt derselbe z. B. nur einen Neigungswinkel von 14° — und folglich auch bei Einstelluug auf die Ebene G G in dem B_1' zugeordneten Punkte der Bildebene Helligkeit erzeugen müssen. Uebrigens können wir hier auf eine speciellere Besprechung dieses Problemes nicht eingehen und wollen uns in dieser Beziehung auf die Bemerkung beschränken, dass in dieser Weise bei ein und derselben Luftblase verschiedene helle Kreise entstehen können.

§ 570. Ebenso wie bei der Quecksilberkugel sind nun übrigens auch bei den Luftblasen die Bedingungen für Interferenzerscheinungen

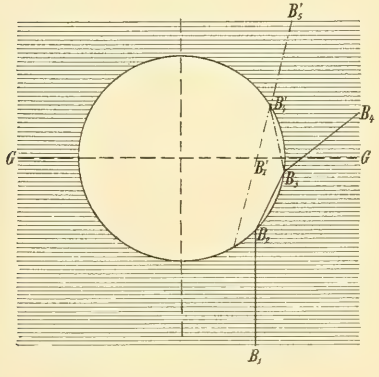


Fig. 228.

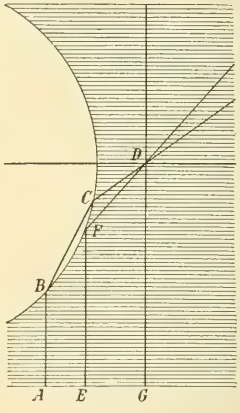


Fig. 229.

erfüllt. Unter Verweisung auf Fig. 229 will ich an dieser Stelle nur hervorheben, dass unter Umständen sogar 3 verschiedene Strahlen mit einander interferieren können. So treffen ja in dem Punkte D offenbar der gebrochene Strahl A B C D, der total reflectierte Strahl E F D und der directe Strahl G D zusammen.

Die genaue Berechnung der Phasendifferenz dieser Strahlen bietet nun aber in diesem Falle schon deshalb grössere Schwierigkeiten, weil die Strecke B C in einem anderen Medium und als auch mit abweichender Wellenlänge zurückgelegt wird, also die übrigen Theile. Ich will mich deshalb auch an dieser Stelle auf die leicht durch directe Beobachtung zu controlierende Bemerkung beschränken, dass eine Luftblase wie eine

Quecksilberkugel im mikroskopischen Bilde von einem oder mehreren Interferenzkreisen umgeben ist, deren Deutlichkeit im allgemeinen mit der Verminderung des Oeffnungswinkels des Beleuchtungskegels zunimmt.

b) Das Bild eines Oeltropfens.

§ 571. In Fig. 230 ist in ganz analoger Weise, wie in Fig. 226, für ein parallel der Achse des Mikroskops verlaufendes Lichtbündel der beim Durchtritt durch einen in Wasser befindlichen Oeltropfen eintretende Strahlenverlauf construiert. Ohne mich nun aber auf weitere Details einzulassen, will ich an dieser Stelle nur hervorheben, dass, wie ja auch aus der Figur unmittelbar ersichtlich ist, die Breite des dunklen Randes bei dem Oeltropfen — im Gegensatz zur Luftblase — mit dem Senken des Tubus immer mehr abnimmt und auch bei der Einstellung auf die Oberfläche der Kugel am schärfsten ist. Ferner ist aus der Fig. 230, die für das sehr stark brechbare Cassiaöl construiert ist, ersichtlich, dass der dunkle Rand in diesem Falle bei gleicher Oeffnung des Objectivs bedeutend schwächer ist als bei einer Luftblase, so besitzt z. B. der Strahl $E_1 E_2 E_3 E_4$ beim Austritt aus dem Oeltropfen nur eine Neigung von 17^0 gegen die Achse (A A). Uebrigens ist ja auch das Verhältnis zwischen dem Brechungsindex von Cassiaöl ($n = 1{\cdot}580$) und Wasser ($n = 1{\cdot}336$) erheblich geringer, als zwischen Wasser und Luft.

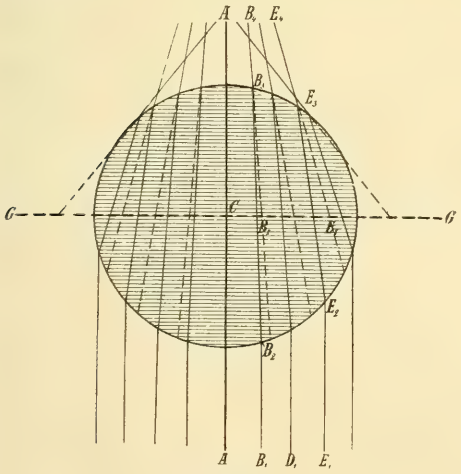


Fig. 230.

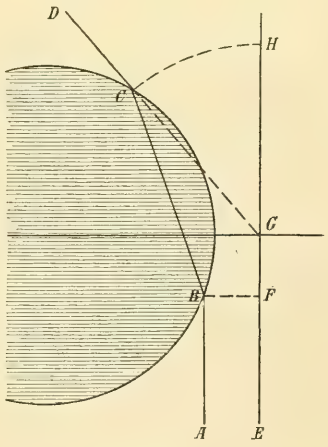


Fig. 231.

§ 572. Schliesslich erwähne ich noch, dass auch in diesem Falle die zur Erzeugung von Interferenzerscheinungen nöthigen Bedingungen erfüllt sind. So werden offenbar die Strahlen A B C D und E F G H (Fig. 231) im Bildpunkte von G mit einander interferieren. Die Phasen-

differenz wird in diesem Falle dargestellt durch den Unterschied der Weglänge von B C und F H, denn es kommen ja die beiden Strahlen in B und F offenbar mit der gleichen Schwingungsphase an. Ferner werden nach dem Gesetz von der Gleichheit der optischen Weglänge (§ 59) in dem Bildpunkte von G Strahlen mit gleicher Phase ankommen, die von G oder auch von C und H mit gleicher Schwingungsphase ausgehen. Bei der Vergleichung der Wegstrecken B C und F H ist nun übrigens natürlich die Verschiedenheit der Wellenlänge in den beiden verschieden stark lichtbrechenden Medien mit in Rechnung zu bringen.

Eine genaue Berechnung würde nun übrigens auch in diesem Falle zu dem leicht durch directe Beobachtungen zu bestätigendem Resultate führen, dass der Rand der lichtbrechenden Kugel von einem hellen Hof mit Interferenzringen umgeben ist.

---

§ 573. Aus dem Obigen lässt sich nun zunächst ein wichtiges Kriterium ableiten, welches in der Praxis vielfach Verwendung finden kann, wenn es sich darum handelt, für ein fragliches mikroskopisches Object festzustellen, ob es ein geringeres oder grösseres Lichtbrechungsvermögen als die Einbettungsflüssigkeit besitzt. Offenbar muss ja nach § 569 der bei der Einstellung auf die Oberfläche der betreffenden Kugel sichtbare Kreis sich beim Senken des Tubus verkleinern, wenn es sich um ein Object handelt, das einen geringeren Brechungsindex als das Einschlussmittel besitzt, während er sich im entgegengesetzen Falle nach § 571 vergrössern müsste. Uebrigens ist bei derartigen Bestimmungen ein Beleuchtungskegel von möglichst geringem Oeffnungswinkel zu nehmen und ausserdem alles von oben einfallende Licht möglichst fernzuhalten.

§ 574. Für die mikroskopische Unterscheidung von stärker oder schwächer lichtbrechenden Kugeln gibt es nun übrigens noch ein weiteres Kriterium, dass darauf beruht, dass jeder kugelförmige oder ähnlich gestaltete Körper wie eine Linse wirkt und also auch von der Lichtquelle ein Bild entwirft. Man kann dieses Bild am besten beobachten, wenn man zur Beleuchtung nur den Planspiegel (ohne Condensor) benutzt und denselben auf eine scharf begrenzte helle Fläche von geringer Oeffnung, etwa ein entfernt gelegenes Fenster oder eine Flamme, einstellt. Man erhält dann offenbar in der Brennebene des fraglichen Körpers ein Bild von der Lichtquelle. Bei einem Körper mit stärkerer Lichtbrechung (Oeltropfen oder dergl.) muss nun dies Bild offenbar, wie bei jeder gewöhnlichen Convexlinse, von der Lichtquelle aus gerechnet, jenseits derselben liegen und man wird also, wenn man zuvor auf den Rand des

Oeltropfens eingestellt hat, den Tubus heben müssen, um jenes Bild zu beobachten. Dahingegen wirkt nun aber eine Kugel mit geringerem Brechungsindex, wie leicht begreiflich, umgekehrt wie eine Concavlinse und man wird also z. B., um das von einer Luftblase erzeugte Bild der Lichtquelle beobachten zu können, den Tubus senken müssen.

Ich will übrigens noch bemerken, dass es keineswegs nothwendig ist, dass die betreffenden Körper eine genaue Kugel- oder Linsenform besitzen; vielmehr ist es in der angegebenen Weise z. B. auch möglich, von den relativ unregelmässig gestalteten Stärkekörnern der Kartoffel ein scharfes Bild des Fensterkreuzes oder dergl. zu erhalten.

§ 575. Ferner scheint mir nun aber von den obigen Erörterungen für die mikroskopische Praxis ganz besonders bemerkenswert, dass die Abbildung von solchen Körpern, die nur durch abweichende Lichtbrechung oder Reflexion auf die vom Beleuchtungsapparate ausgehenden Strahlen einwirken, sehr complicierter Natur ist und dass die Deutung derartiger Bilder häufig eine äusserst schwierige ist. Diese Bilder haben denn auch bereits zu verschiedenen irrthümlichen Auffassungen geführt. Als Beispiele hierfür erwähne ich nur, dass die hellen Höfe und Interferenzstreifen, welche nach Obigem alle Körper von abweichender Lichtbrechung umgeben, schon vielfach für Membranen und dergl. gehalten wurden.

Ganz anders verhalten sich dagegen solche Präparate, in denen Reflexionen und Brechungen keine Rolle spielen, die also nur durch Absorption auf die abbildenden Strahlenkegel einwirken. Eine solche Abbildung findet z. B. bei gefärbten Objecten statt, die in eine Substanz von dem gleichen Brechungsindex eingebettet sind, was ja z. B. bei der Einbettung in Canadabalsam zum mindesten sehr annähernd der Fall ist. Es kann nach Obigem kein Zweifel darüber bestehen, dass die von derartigen Präparaten gelieferten Bilder in schwierigeren Fällen vom rein optischen Standpunkte ein viel grösseres Vertrauen beanspruchen können, als diejenigen, welche von ungefärbten Präparaten erzeugt werden.

Literaturverzeichnis.

Abbe, E., I. Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. (Archiv f. mikroskopische Anatomie. 1873. Bd. 9. p. 413.)

II. Ueber die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme. (Sitzungsber. d. Jenaischen Ges. f. Med. u. Naturw. 1879. p. 128.)

III. Ueber Verbesserungen des Mikroskops mit Hilfe neuer Arten optischen Glases. (Ibid. 1886, Sitzg. v. 9. Juli.)

IV. Ueber Blutkörperzählung. (Ibid. 1878. p. XCVIII.)

V. Beschreibung eines neuen stereoskopischen Oculars. (Repertorium der Experimental-Physik. Herausgeg. v. Carl. 1881. Bd. 17. p. 197.)

Altmann, R., I. Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen zu den Zellen. Leipzig. 1890.

Ambronn, H., I. Anleitung zur Benutzung des Polarisationsmikroskops. Leipzig 1892.

II. Ueber die Entwicklungsgeschichte und die mechanischen Eigenschaften des Collenchyms. (Pringsheims Jahrb. f. w. Bot. Bd. XII.)

Apathy, S., I. Mikrotechnische Mittheilungen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 6. p. 164.)

Babes, V., I. Ueber einige Apparate zur Bacterienuntersuchung. (Centralbl. f. Bacteriol. u. Parasitenk. 1888. Bd. IV. p. 17.)

Behrens, W., I. Neue Apparate aus der Werkstätte von R. Winkel in Göttingen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. p. 289.)

II. Winkels Mikrometerocular mit vertical beweglichem Mikrometer. (Ibid. Bd. 2. p. 41.)

III. Gläser zum Aufbewahren von Immersionsöl. (Ibid Bd. 8. p. 184.)

IV. Das Mikroskop und die mikroskopischen Nebenapparate. I. Theil von: Behrens, Kossel und Schiefferdecker, Das Mikroskop. Braunschweig 1889.

Bernhard, W., I. Eine neue Modification des Abbe'schen Zeichenapparates. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 291.)

II. Ein Zeichentisch für mikroskopische Zwecke. (Ibid. Bd. 9. p. 439.)

Born, G., I. Ein neuer Schnittstrecker. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. p.157.)

Brefeld, O., I. Culturmethoden zur Untersuchung der Pilze. (Untersuchungen aus dem Gesammtgebiete der Mykologie. Heft IV. p. 1.)

Busse, W., I. Die Anwendung der Celloidin-Einbettung in der Pflanzen-Anatomie (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 462.)

II. Nachträgliche Notiz zur Celloidin-Einbettung. (Ibid. Bd. 9. p. 49.)

III. Photoxylin als Einbettungsmittel für pflanzliche Objecte. (Ibid. p. 47.)

Cori, C. J., I. Das Objecttischaquarium. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1893. Bd. X. p. 148.)

Czapski, S., I. Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. Breslau 1893.

II. Die voraussichtlichen Grenzen der Leistungsfähigkeit des Mikroskops. (Zeitschr. f. w. Mikroskopie. Bd. 8. p. 145.)

Dippel, L., I. Das Mikroskop und seine Anwendung. I. Theil. 2. Aufl. 1882.

II. Kalium-Quecksilberjodid als Quellungsmittel. (Zeitschr. f. w. Mikr. Bd. I. p. 251.)

Dubois-Reymond, E., I Ueber nicht polarisierbare Elektroden. (Monatsber. d. Berliner Akademie. 1859. p. 443.)

II. Beschreibung einiger Vorrichtungen und Versuchsweisen zu elektro-physiologischen Zwecken (Abhandl d. Berliner Akademie. 1862. p. 75.)

Ebner, V. v., I Ueber A. Frommes Einrichtung des Polarisationsapparates zu histologischen Zwecken. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 9. p. 161.)

Edinger, L., I. Ein neuer Apparat zum Zeichnen schwacher Vergrösserungen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 179.)

Elschnig, A., I. Zur Technik der Celloidineinbettung. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. p. 443.)

Engelmann, Th. W., I. Das Mikrospectrometer. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 5. p. 289.)

II. Zur Biologie der Schizomyceten. (Pflügers Archiv. 1881. Bd. 26. p. 537.)

III. Mikrometrische Untersuchungen an contrahierten Muskelfasern. (Ibid. Bd. 23. p. 571.)

IV. Ueber Wärmemessungen am Mikroskop. (Archiv f. mikrosk. Anatomie 1868. Bd. 4. p. 334.)

V. Beiträge zur Physiologie des Protoplasmas. (Pflügers Archiv. 1869. Bd. 2. p. 307.)

VI. Ueber die Flimmerbewegung. (Jenaische Zeitschr. f. Medicin u. Naturw. 1868. Bd. 4. p. 321.)

Eternod, A., I. Instruments destinès à la microscopie. (Zeitschrift f. w. Mikrosk. Bd. IV. p. 39.)

Fischer, A., I. Neue Beobachtungen über Stärke in den Gefässen. (Ber. d. D. botan. Ges. 1886. p. XCVII)

Fleischl v. Marxow, E., I. Ueber C. Reicherts vervollkommneten mechanischen Objecttisch. (Zeitschrift f. w. Mikroskopie. Bd. IV. p. 25.)

Flesch, M., I. Ueber einen heizbaren, zu schnellem Wechsel der Temperatur geeigneten Objecttisch. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 1. p. 33.)

Gage, S. H, I. The Microscope and microscopical Methods. 5. Ed. Ithaca. 1894.

Geoffroy, A., I. De l'emploi du chloral pour monter les préparations microscopiques. (Journ. d. Botan. 1893. p. 55)

Giesenhagen, I Ein Zeichenpult für den Gebrauch am Mikroskop. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 7. p. 169.)

Giltay, E., I. Sieben Objecte unter dem Mikroskop. Leiden. 1893.

Hansen, E. C., I. Ueber das Zählen mikroskopischer Gegenstände in der Botanik. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 1. p. 191.)

Hayem, G., I. Du sang et de ses altérations anatomiques. Paris. 1889. (Ref.: Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 6. p. 330.)

Helmholtz, H. v., I. Handbuch der physiologischen Optik. 2. Aufl. 1886.

Henking, H., I. Winkels neuer Zeichenapparat. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 295.)

Israel, O., I. Ueber eine Erwärmungsvorrichtung als Ersatz der heizbaren Objecttische. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 2. p. 459.)

Kaiserling, C., und Germer, R., I. Ueber den Einfluss der gebräuchlichen Conservierungs- und Fixationsmethoden auf die Grössenverhältnisse thierischer Zellen. (Virchows Archiv. 1893. Bd. 133. p. 79.)

Kirchner, I Die mikroskopische Pflanzenwelt des Süsswassers. Braunschweig. 1885.

Klebahn, I. Studien über Zygoten I. (Pringsheims Jahrb. Bd. 22. p. 415.)

Klebs, E., I. Beiträge zur Kenntnis der Mikrococcen. (Archiv f. experim. Pathol. u. Pharmakol. 1873. Bd. I. p. 31.)

Klercker, J. af, I. Ueber das Cultivieren lebender Organismen unter dem Mikroskop. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 6. p. 145.)

II. Zur Verwendung des Schlittenmikrotoms für photohistologische Zwecke. (Verhandl. d. Biol. Ver. in Stockholm. 1891. Bd. IV. Nr. 1.)

Koch, A., I. Eine Combination von Schraubenmikrometer und Glasmikrometerocular. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 6. p. 33.)

Koch L., I. Ueber Einbettung, Einschluss und Färben pflanzlicher Objecte. (Pringsheims Jahrb. f. w. Bot. Bd. 24. p. 1.)

Köhler, A., I. Ein neues Beleuchtungsverfahren für mikrophotographische Zwecke. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. 1893. p. 433.)

Lenz, W., I. Bemerkungen über die Aufhellung und über ein neues mikroskopisches Aufhellungsmittel. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1894. Bd. 11. p. 16.)

Loewit, M., I. Ein heizbarer Objecttisch für starke Vergrösserungen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 2. p. 43.)

Mayer, P., I, Aus der Mikrotechnik. (Internationale Monatsschr. f. Anat. u. Physiol. 1887. Bd. 4. p. 37.)

II. Einfache Methode zum Aufkleben mikroskopischer Schnitte. (Mitth. a. d. Zool. Stat. Neapel. Bd. 4. p. 521.)

Miyoshi, M., I. Ueber den Chemotropismus der Pilze. (Botan. Zeitung. 1894. p. 1.)

Moll, J. W., I. Das Mikrotom Reinhold-Giltay. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1892. Bd. 9. p. 445.)

Naegeli, C., I. Die ungleiche Vertheilung gelöster Stoffe in dem Wassertropfen eines mikroskopischen Präparates. (Sitzungsber. d. k. bayer. Akad. d. W. 1863. p. 293.)

II. Die Anwendung des Polarisationsmikroskopes auf die Untersuchung der organischen Elementartheile. (Beitr. z. w. Botan. 1863. Heft 3. p. 1.)

Naegeli, C., und Schwendener, S., I. Das Mikroskop. 2. Aufl. Leipzig. 1877.

Neuhauss, R., I. Lehrbuch der Mikrophotographie. Braunschweig. 1890.

II. Das Ocular bei mikrophotographischen Arbeiten. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 5. p. 328.)

Overton, I. Mikrotechnische Mittheilungen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1890. Bd. 7. p. 9.)

Pfeffer, W., I. Ein neuer heizbarer Objecttisch nebst Bemerkungen über einige Heizeinrichtungen. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 7. p. 433)

II. Ueber chemotaktische Bewegungen von Bacterien, Flagellaten und Volvocineen. (Unters. a. d. bot. Inst. in Tübingen. Bd. II. p. 582)

III. Locomotorische Richtungsbewegungen durch chemische Reize. (Ibid. Bd. I. p. 363.)

Pfeiffer, L., I. Die Protozoen als Krankheitserreger etc. Jena. 2. Aufl. 1891. (Ref. Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 355.)

Pfeiffer, R. v. Wellheim, F., I. Mittheilungen über die Anwendbarkeit des venetianischen Terpentins bei botanischen Dauerpräparaten. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 8. p. 29)

Rabl, H., I. Ueber geschichtete Niederschläge bei Behandlung der Gewebe mit Argentum nitricum. (Sitzungsber. d. Akad. d. W. in Wien. Naturw.-mathem. Cl. Bd. 102. Abth. 3. 1893. p. 342.)

Ranvier, L., I. Technisches Lehrbuch der Histologie. Uebers. v. Nicati u. v. Wyss. Leipzig. 1888.

Reinert, E., Die Zählung der Blutkörperchen. Leipzig. 1891.

Rollet, A., 1. Ueber das Polarisationsmikroskop, mit Bemerkungen über das Spectrumocular. (Zeitschr. f. Instrumentenkunde. 1881. p. 366.)

Rosen, F., I. Mittheilungen aus dem Gebiet der Mikrotechnik. (Jahresber. d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur. 1893. Abth. II. Botan. Sect. p. 8.)

Sachs, J., I. Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl. Leipzig. 1874.

Scherffel, A., I. Ueber eine Verbesserung der J. af Klercker'schen Vorrichtung zum Cultivieren lebender Organismen unter dem Mikroskop. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. p. 441.)

Schiefferdecker, P., I. Ueber einen Mikroskopierschirm. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 9. p. 180.)

II. Mittheilungen von der Ausstellung wissensch. Apparate auf der Vers Deutscher Naturf. u. Aerzte in Wiesbaden. (Ibid. Bd. 4. p. 303)

III. Ueber einen Apparat zum Markieren von Theilen mikroskopischer Objecte. (Ibid. Bd. 3. p. 461.)

IV. Ueber ein neues Doppelmesser von W. Walb in Heidelberg. (Ibid. Bd. 11. p. 4.)

V. Das mikroskopische Präparat. (Behrens, Kossel und Schiefferdecker. Das Mikroskop. Braunschweig. 1889. p. 88)

Schultze, Max, I. Ein heizbarer Objecttisch und seine Verwendung bei Untersuchungen des Blutes. (Archiv f. mikrosk. Anatomie. 1865. Bd. 1. p. 1.)

II. Die Anwendung mit Jod conservierter thierischer Flüssigkeiten als macerierendes und conservierendes Mittel bei histologischen Untersuchungen. (Virchows Archiv. 1864. Bd. 30. p. 263.)

Schulze, Franz Eilhard, I. Ein Entwässerungsapparat. (Archiv f. mikrosk. Anatomie. Bd. 26. p. 539.)

Sohnke, L., I. Ungewöhnliche mikroskopische Bilder. (Sitzungsber. d. math.-phys. Cl. d. k. bayer. Akad. d. W. 1893. Bd. 23. p. 223.)

Suchannek, I. Technische Notiz, betreffend die Verwendung des Anilinöls in der Mikroskopie, sowie einige Bemerkungen zur Paraffineinbettung. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 7. p. 156.)

Thoma, R., I. Ueber eine neue Camera lucida. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. 1888. Bd. 5. p. 297.)

Valenti, A., I. Un nuovo indicatore micrografico (microtopografo) applicabile a qualunque microscopio a tavolino quadrangulare. (Gazzetta Med. Roma. 1893. Nr. 9. — Ref.: Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 10. p. 454.)

Verworn, M., I. Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom. (Pflügers Archiv f. d. ges. Physiol. Bd. 45. 1889. p. 1.)

Vescovi, P. de, I. Un semplicissimo marcatore geometrico per micrografia. (Zool. Anz. 1892. Bd. 15. p. 203.)

Vinassa, E., I. Beiträge zur pharmakognostischen Mikroskopie. (Zeitschr. f. w. Mikrosk. Bd. 4. p. 295.)

Vines, S. H., I. The Influence of Light upon the Growth of unicellular Organs. (Arbeiten des botan. Inst. in Würzburg. Bd. 2. p. 133.)

Welcker, H., I. Ueber Aufbewahrung mikroskopischer Objecte. Giessen. 1856.

Zettnow, E., I. Das Kupfer-Chrom-Filter. (Centralbl. f. Bakteriologie u. Parasitenk. 1884. Bd. 4. p. 51.)

Zimmermann, A, I. Die botanische Mikrotechnik. Tübingen. 1892.

Verzeichnis

einiger Lieferanten von Mikroskopen und Utensilien für Mikroskopie.

Albrecht, Universitätsmechaniker, Tübingen, Uhlandstrasse.
Büchi, F., Optiker und Mechaniker, Bern.
Ehrhardt & Metzger, Darmstadt.
Fuess, R., Steglitz bei Berlin, Düntherstrasse 8.
Grübler, Dr. G., Leipzig, Bayerische Strasse 63.
Harbers, Chr., Magazin für photographischen Bedarf, Leipzig, Markt 6.
Hartnack, E., Potsdam, Waisenstrasse 39.
Hellige, F., Basel und Leopoldshöhe (Baden), 1895 auch Freiburg i. B.
Jung, R., Mechaniker, Heidelberg, Landhausstrasse 12.
Kleinert, Mechaniker, Breslau, Breitestrasse.
Klönne, J., & Müller, G., Berlin NW., Luisenstrasse 49.
Lautenschläger, F. & M., Berlin N., Oranienburgerstrasse 54.
Leitz, E., Optisch-mechanische Werkstätte, Wetzlar.
Leybolds Nachfolger, Cöln.
Merck, Chemische Fabrik, Darmstadt.
Meyer, A., & Comp., Optisch-mechanische Werkstätte, Zürich II. (Schweiz).
Perutz, O., Trockenplatten-Fabrik, München, Dachauerstrasse 50.
Reichert, C., Optisches Institut, Wien VIII., Bennogasse 26.
Schanze, M., Mechaniker, Leipzig, Brüderstrasse 63.
Schröter, Th., Cartonagen-Fabrik, Leipzig, Windmühlenstrasse 46.
Seibert, W. & H., Optisches Institut, Wetzlar.
Siebert, R., k. k. Hoflieferant, Wien VIII., Alserstrasse 19.
Stender, W. P., Dampfglasschleiferei, Leipzig, Gerichtsweg 19.
Walb, W., Heidelberg.
Winkel, R., Göttingen.
Zeiss, C., Optische Werkstätte, Jena.
Zimmer, C., Hoflieferant, Berlin, Taubenstrasse 39.
Zimmermann, E., Feinmechanische Werkstätte, Leipzig, Emilienstrasse 21.

Register.

Abbe'scher Beleuchtungsapparat 82.
— Zeichenapparat 133.
Aberration, chromatische 30; sphärische 28.
Abschwächung, der photogr. Platten 209.
Abziehen, der Messer 275.
Abziehvorrichtung 275.
achromatische Objective 67, Systeme 32.
Achse, einer Linse 1; einer Linsencombination 11; optische 156.
Additionsfarben 176.
Alkohol, zur Entwässerung 241; zur Härtung 255; zur Maceration 248.
Amplitude 34.
Analysator 162.
Anilin, zur Entwässerung 244.
anisotrope Körper 156.
Apertometer 120.
Apertur, numerische 22; Bestimmung 121.
aplanatisches Ocular 77.
— System 29.
apochromatisches Objectiv 67.
— System 33.
Aquarium 222.
— Mikroskop 107, 222.
Asphaltlack 303.
Auer'sches Glühlicht 85.
Aufhellung 238.
Aufkleben der Mikrotomschnitte, mit verd. Alkohol 296; mit Collodium 296; mit Eiweissglycerin 295; mit Wasser 296.
Auflösungvermögen 125.
Auge, anatomischer Bau 13; Apertur 23; Austrittspupille 23; Eintrittspupille 22; Hauptpunkte 14; Knotenpunkte 14; kurzsichtiges 16; reduciertes 14; weitsichtiges 16.
Augenkammer 13.
Augenlinse, des Oculars 57, 77.
Austrittspupille 18, des Mikroskops 60, 61, 64.
Auswaschapparat 253.
Auswaschen des Fixierungsmittels 252.

Beleuchtungsapparat 57, 81; Abbe'scher 82; für monochromatisches Licht 188; von Koch-Wolz 85; Theorie 86.
Beobachtungflüssigkeiten 218, 219.
Bergamottöl zur Aufhellung 241; zur Uebertragung in Paraffin 283, 287.
Bernsteinlack 303.
Beugungsbild 40, 42.
beweglicher Objecttisch 103.
Bilder, reelle 6, virtuelle 6.
Bildmikroskop 106.
bildumkehrendes Ocular 190.
— Prisma 190.
Blendung 16; am Mikroskop 81, 82; für Dunkelfefdbeleuchtung 97.
Blutkörperchen, Zählung 153.
Blutserum 219.
Brennpunkt 2; des Objectivs, Bestimmung 114; des Oculars, Bestimmung 118.
Brennweite 4; des Objectivs, Bestimmung 116; des Oculars, Bestimmung 119.

Camera lucida 128, s. auch Zeichenapparate.
Campani'sches Ocular 76.
Canadabalsam, zur Aufhellung 244; zur Conservierung 298, 299; als Verschlussmittel 303.
Capillarmethode, zum Nachweis von Chemotaxis 235.

Cardinalpunkte, 2.
Cartons, f. Deckgläschen 215; f. Paraffinklötze 289; f. photogr. Platten 210; f. Präparate 307.
Celloidin, zur Einbettung 290, 294.
Centralstrahl 7.
centriertes Linsensystem 11.
Centrierung, des Objecttisches 160.
Chemotaxis 234.
Chemotropismus 234.
Chloralhydrat, zur Aufhellung 240.
Chloralhydrat-Gelatine, zur Conservierung 302.
Chlorsaures Kali und Salpetersäure, zur Maceration 247, 248.
Chlorsilber-Celloidin-Papier 210.
chromatische Aberration 30.
chromatische Differenz, der sphärischen Aberration 32; der Vergrösserung 33.
Chromsäure, zur Maceration 247; zur Quellung 246.
circular polarisiertes Licht 156.
Clips 299.
Collectivlinse, des Oculars 56.
Compensationsocular 76, 79,
Compressorium 266.
Concavlinse 1; Abbildung 10; Brennpunkt 4.
Conservierung, v. Paraffinklötzen 289; v. photogr. Platten 210; v. Präparaten 307.
Convexlinse, 1; Abbildung 8.
Copierbretter 210.
Copierrahmen 210.
Correction, der chromatischen Aberration 31; der Deckglasdicke 71; der sphärischen Aberration 29.
Correctionsplatten 279.
Cylinderblendung 82.

Dammarlack, zur Aufhellung 245; zur Conservierung 298.
Deckgläschen 213, 214; Aufbewahrung 215; Einfluss auf das mikroskopische Bild 71; Reinigung 215.
Deckglastaster 73.
Definitionsvermögen des Mikroskops 122.
Dehnung, Einfluss auf die optischen Achsen 159; Apparat zur — 160.
Demonstrationsmikroskop 106.
Diagonalstellung 166.
Diaphragma 57.
Diffractionsplatte 46, 311.
Doppelmesser 268.
drehbarer Objecttisch 103, 160; zur Winkelmessung 152.
Dünnschliffe, Herstellung 297.
Dunkelfeldbeleuchtung 97; für Mikrophotographie 202.
Dunkelkammer 206.
Dunkelkasten 98.
Dunkelzimmerlampe 206.
Durchfärbung 258.
Durchleuchter 258.

Eau de Javelle, zur Aufhellung 240.
Edinger'scher Zeichenapparat 141; für Mikrophotographie 196.
Eigenvergrösserung der Objective 112.
Einachsige Krystalle 157.
Einbettung, mit Celloidin 290; mit Celloidin und Paraffin 294; mit Glyceringelatine 282; mit Gummi arabicum 281; mit Paraffin 282; mit Photoxylin 293.
Einschlussmittel 298.
Einstellung, des Beleuchtungsapparates 99; des Mikroskops 56, 59, 101.
Einklemmen 280; mit Flaschenkork 281; mit Hollundermark 280; mit Leber 280.
Einstellvorrichtung am Mikrotom 270.
Einstellungsvorrichtung, am Mikroskop, feine 101; grobe 101
Eintrittspupille 18; des Auges 22; des Mikroskops 59.
Eiweiss, als Betrachtungsflüssigkeit 218.
Eiweissglycerin, zum Aufkleben der Mikrotomschnitte 295.
Elasticitätsachsen, optische, von Krystallen 157; von organisierten Körpern 158.
Elasticitätsellipse 157.
Elasticitätsellipsoid 157.
elektrische Objectträger 231.
Elektroden 231; unpolarisierbare 231, 232, 233.
elliptisch polarisiertes Licht 156.
Entwässerung, durch Alkohol 241; durch Anilin 244; durch Austrocknen 244; durch Phenol 245.

Entwässerungsgefäss n. Schulze 242.
Entwicklung der photogr. Platten 207.
Eosinsilberplatten 206.
Erythrosinsilberplatten 206.
Etiquettierung der Präparate 303.

Fadenkreuz, im Ocular 147.
Färbung 256; fixierter Objecte 257; lebender Objecte 257; von Mikrotomschnitten 259.
Farben dünner Plättchen 173.
farbenempfindliche Platten 206.
Farbenscala, Newton'sche 173.
Farrant'sche Lösung 302.
Fernhaltung störenden Lichtes 98.
feuchte Kammern 219; nach Brefeld 220; n. Engelmann 223; n. Fritsch 223; n. Pfeffer 229; n. Klebs 220; n. Schulze 220. 238.
Finder 103, 105.
Fixierung, der mikrosk. Objecte 248; durch Austrocknen bei niederer Temperatur 255; durch Dämpfe 254; durch Erhitzen 254; durch Flüssigkeiten 251; der photogr. Platten 208.
Flaschenkork, zum Einklemmen 281.
Focusdifferenz 203.

Galvanotaxis 233.
Gasglühlicht 85.
Gaskammer, nach Engelmann 223; n. Fritsch 223; n. Pfeffer 229.
Gefriermikrotom 272.
gekreuzte Nicole 165.
geradlinig polarisiertes Licht 156.
Gesichtsfeldblendung 27; des Oculars 57.
Gipskeil 170.
Gipsplättchen, Bestimmung der optischen Achsen 177; Einschaltung 162.
Glaskörper 13.
Glasschalen 216.
Glassiebe, nach Steinach 252.
Glycerin, zur Aufhellung 241; zur Conservierung 299; Uebertragung in — ohne Schrumpfung 241.
Glyceringelatine, Darstellung 300; zur Conservierung 300; zur Einbettung 282.
Goldsize 303.
Goniometerocular 151.
Grenzen der optischen Wahrnehmung 51.
Grenzwinkel 21.
Gummi arabicum, als Beobachtungsflüssigkeit 218; zur Einbettung 281.

Hängender Tropfen, Beobachtung im — — 220.
Härtung 255.
Hauptachse, der einachsigen Krystalle 157.
Hauptpunkte 3; des Auges 14.
Hartnack'scher Beleuchtungsapparat für monochromatisches Licht 188.
heizbarer Objecttisch 224; n. Israel 226; n. Löwit 225; n. Pfeffer 228; n. Pfeiffer 226; n. Schultze 224.
Hohlspiegel, Abbildung durch den — 88.
Hollundermark, zum Einklemmen 280.
homogene Immersion 70.
Horizontal-Mikroskop von Albrecht 106; n. Schulze 107. 222.
Hornhaut 13.
Humor aqueus 219.
Huygens'sches Ocular 76.

Immersionsysteme 69; homogene — 70; Monobromnaphtalin — 70; Oel — 70; Reinigung 110; Wasser — 69.
Imprägnierung 260.
Injection 261; bei der Fixierung 251.
Injectionsmassen 263.
Instandhalten des Mikroskops 108.
Interferenzerscheinungen 35; an Luftblasen 318; an Oeltropfen 319; an Quecksilberkugeln 312.
Iris 13, 22.
Irisblendung 83.
Isolierung der Zellen 246.
isotrope Körper 156.

Joddämpfe zur Fixierung 254.
Jodserum 219.

Kalihydrat, zur Aufhellung 240; zur Maceration 247, 248; zur Quellung 246.
Kalisalpeterlösung, als Beobachtungsflüssigkeit 218.
Kammern, feuchte 219.
Knotenpunkte 14.
Kochsalzlösung, physiologische 219.

Koch-Wolz'scher Beleuchtungsapparat 86.
Kork, zum Einklemmen 281.
Krümmung der Bildfläche 67.
Krystalle, einachsige 157; zweiachsige 158.
Krystallinse 13.
Kupferoxydammoniak, als Lichtfilter 204; zur Quellung 246.

Lävulose, zur Conservierung 302.
Lebendfärbung 257.
Leber, zum Einklemmen 280.
Lichtfilter 203.
Lichtquelle 84; für Mikrophotographie 200.
Lichtträger 258.
Linsen 1; Achse 2; Brennpunkte 2; Brennweite 4; Cardinalpunkte 2; Hauptpunkte 3; Knotenpunkte 14.
Luft, Einschluss in —, 299.
Luftblase, Abbildung 315.

Maceration 246.
Macerationsgemisch von Schulze 247.
Markierung, der Präparate 304.
Membranmethode, zum Nachweis von Chemotropismus 230.
Messer, Abziehen 275; Schleifen 275; zum freihändigen Schneiden 267; zum Mikrotom 272.
Messocular 143.
Messung, von Längen innerhalb der Einstellungsebene 143; parallel der Achse des Mikroskops 149; von Winkeln 151.
Metallspatel 217.
Methylmixtur 248.
Mikrometerocular 143.
Mikromillimeter 143.
Mikron 143.
Mikrophotographie 194.
mikrophotographisches Stativ 194.
Mikroskop, Augenpunkt 61; Austrittspupille 60, 61, 64; einfaches 56; Einstellung 64; Eintrittspupille 59; horizontales 106; Strahlenbegrenzung 59, 63; zusammengesetztes 56.
Mikroskopierschirm 99.
Mikrospectralobjectiv 189.
Mikrospectralphotometer 188.
Mikrotom 268; n. Altmann 268; von Büchi 271; von Jung 270; n. Minot 270, von Schanze 268, 270, 272; n. Vinassa 271; von Zimmermann 270.
Mikrotommesser 272.
Mikrotomschnitte, Aufkleben 294; Färbung 259.
Mikrotopograph 304.
Monobromnaphtalin-Immersion 70.
multoculares Mikroskop 106.

Nachet'sches bildumkehrendes Prisma 190.
Natriumsalicylat, zur Aufhellung 240.
Neapeler Wasserbad 285.
Negativbewahrer 210.
Nelkenöl, zur Aufhellung 241.
Netzhaut 13.
Netzmikrometer 154.
Newton'sche Farbenscala 173.
Nicol'sche Prismen 162.
Nobert'sche Probeplatte 125.
normale Sehweite 16.
numerische Apertur 22.

Oberhäuser'scher Zeichenapparat 137.
Objectabstand 68; Bestimmung 115, 116.
Objectiv 66; Bestimmung der Brennpunkte 114; Bestimmung der Brennweite 116; des Oeffnungswinkes 120; für Immersion 69; mit Correctionsfassung 71; Reinigung 109.
Objectivklammer 76.
Objectmarkierer 306.
Objectmikrometer 144.
Objectschraubenmikrometer 147.
Objecttisch 56; beweglicher 103; drehbarer 103, 160; zur Winkelmessung 152; heizbarer 224.
Objecttischaquarium 222.
Objectträger 213; elektrischer 231, 232; Reinigen 215.
Ocular 56, 76; aplanatisches 77; Bestimmung der Brennpunkte 118; der Brennweite 119; bildumkehrendes 190; Campani'sches 76; Compensations- 76, 79; mit Fadenkreuz 147; Huygens'sches 76, 77; orthoskopisches 77; periskopisches 77; Projections- 199; Ramsden'sches 76, 78; Reinigung 109; stereoskopisches 191.

Ocularnetzmikrometer 154.
Ocularmikrometer 143.
Ocularschraubenmikrometer 145.
Oeffnungswinkel 16; der Beleuchtungsvorrichtung 90, 100; des Objectivs 119; Messung 120.
Oeltropfen. Abbildung 319.
Origanumöl, zur Aufhellung 241.
orthoskopisches Ocular 77.
Osmiumsäure, zur Fixierung 254.

Panachromate 68.
Paraffin 286; überhitztes 286; zur Einbettung 282.
Paraffinklötze, Anfertigung 288; Anschmelzen 288; Conservierung 289.
Paraffinofen 283, 284.
periskopisches Ocular 77.
Phenol, zur Aufhellung 240.
Photometer 205.
Photoxylin, zur Einbettung 293.
physiologische Kochsalzlösung 219.
Pincetten 217.
Pipettengläser 215.
Planspiegel, Abbildung durch den — 88
Platten, farbenempfindliche 206.
Pleochroismus 181.
Polarisationsebene 163.
Polarisator 162.
polarisiertes Licht 155, 156.
Präpariermikroskop 56, 263.
Pressung, Einfluss auf die optischen Achsen 159.
Prisma, bildumkehrendes 190.
Probeplatte von Nobert 125.
Projectionsmikroskop 106.
Projectionsoculare 199.

Quecksilberkugel, Abbildung 310.
Quellung 246.

Randstrahlen 16.
Rasiermesser 267.
Reactionen, Ausführung unter dem Mikroskop 237.
reelle Bilder 6
Reinigen des Mikroskops 108.
Revolver 58, 75.
Rodinal 207.
Rohrzucker, als Beobachtungsfüssigkeit 218.

Säuren, zur Aufhellung 240.
Salpetersäure und chlorsaures Kali, zur Maceration 247, 248.
Salzsäure, zur Maceration 248.
Satiniermaschine 212.
Schalen 216.
Schleifen, von Knochen 297; der Messer 275, 276; von Zähnen 297.
Schleifmasse 276.
Schlittenobjectivwechsler 75.
Schnittfänger 217.
Schnittstrecker 273.
Schnittsucher 258.
Schrumpfung, Vermeidung bei der Entwässerung 241; bei der Uebertragung in Paraffin 287.
Schulze'sches Macerationsgemisch 247.
Schutzleisten 304.
Schwefelsäure, zur Maceration 247; zur Quellung 246.
secundäre Abbildung 40.
— Farbenabweichung 32.
— Spectrum 32.
Sehfeld 23.
Sehweite, deutliche 16; normale 16.
Semiapochromate 68.
Senkcylinder 243.
Simplex, 56, 263.
Spectralocular 186.
Spectropolarisator, n. Abbe 184; n. Rollet 183.
sphärische Aberration 28.
Spitzenocular 146.
Spritzflasche 215.
Stativ 56, 100, 108; mikrophotographisches 194; mineralogisches 160; Reinigung 110.
Steinach'sche Glassiebe 252.
stereoskopisches Ocular 191.
Strahlenbegrenzung, im Mikroskop 59.
Strahlengang im Mikroskop 59.
Stückfärbung 258.
Subtractionsfarben 176.
Sucheroculare 80.
Supportmikrotom 268.

Terpentin, venetianischer, zur Aufhellung 245; zur Conservierung 298.
Terpentinharz 303.
Testobjecte 125.

Testplatte, nach Abbe 122.
Tiefenmessung 149.
Tinction 256.
Tonfixierbad 211.
totale Reflexion 21.
Tropfgläser 215, 216.
Tubus 56; ausziehbarer 58, Wirkung 65.
Tubuslänge 58, 102; Einfluss auf die Vergrösserung 113; optische — 103; reducierte 103.

Überverbessertes System 29.
Uhrgläschen 217.
unpolarisierbare Elektroden 231, 232.
unterverbessertes System 30.

Venetianischer Terpentin, zur Aufhellung 245.
Vergrösserung einer Linse 111; des Mikroskops 112, Bestimmung 113; der Objective 112; von Photographien 200; von Zeichnungen 128.
Verschlussmittel 302.
Verstärkung der Platten 208.
virtuelle Bilder 6.
Visierscheibe 202.
Vogelnäpfchen 217.

Wachs, als Verschlussmittel 303.
Wachsfüsschen 219.
Wärmekasten, nach Sachs 228.
Wärmevorrichtung, nach Israel 226.
Wasserbad, Neapeler 285.
Wellenlänge 34.
Winkelmessung 151.
Wölbung des Gesichtsfeldes 124.

Xylol, zur Aufhellung 241, Vermeidung v. Schrumpfung dabei 243; zur Uebertragung in Paraffin 283.

Zählkammer 153.
Zählung 153.
Zeichenapparate 129; nach Abbe 133; nach Bernhard 134; nach Edinger 140; von Jung 139; von Leitz 140; nach Oberhäuser 137; von Reichert 135; nach Thoma 139; von Winkel 135, 138; von Zeiss 133, 136.
Zeichenebene, Richtung 131.
Zeichentisch 141, nach Bernhard 142. nach Giesenhagen 141.
Zeichnungsvermögen des Mikroskops 122.
zweiachsige Krystalle 158.
Zwischenstücke 74.

SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 00273798 9
nmah QH211.Z4
Das Mikroskop.